

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

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

SEVILLA

IDE

ORGANIZED BY

iuacc
INSTITUTO UNIVERSITARIO
ARQUITECTURA Y CIENCIAS DE LA CONSTRUCCION

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
u **eidus**
Escuela Internacional de Doctorado

arquitectura
Escuela Técnica Superior
Universidad de Sevilla

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*

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.

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.



mencionados. La metodología empleada en el proyecto se basa en la articulación de varios tipos de modelos de simulación y optimización. Por un lado, figuran modelos de simulación del comportamiento térmico de muestras representativas del conjunto edificado, elaborados con el software de simulación *TRNSYS*. Por otro lado, un segundo tipo de modelo diseñado con la herramienta *LabView*, integra los sistemas térmicos de los edificios y una herramienta de control de los mismos. Por último, *IMAKUS*, desarrollado en su disertación por Kuhn (2012), constituye el tercer tipo de modelo empleado en el estudio. Consiste en una herramienta capaz de representar y optimizar económicamente el desarrollo de la configuración del sistema eléctrico a largo plazo.

3.2. Uso de la capacidad de almacenamiento de la masa térmica para GDE

En este ámbito, Bukvić-Schäfer (2008) puso de manifiesto la conveniencia de analizar el uso de la capacidad de almacenamiento térmico de la masa constructiva para gestionar la demanda energética, no bajo condiciones fijas de temperatura interior y exterior, sino en régimen dinámico. Así pues, estudió la transmisión de calor a través de cerramientos verticales exteriores de diferentes estándares energéticos en Alemania, modificando la variable *temperatura interior* en el tiempo en sus cálculos matemáticos. Implementando una curva de precio variable de la electricidad se mostró que, gracias al efecto amortiguador de la inercia térmica del cerramiento, es posible adaptar el funcionamiento de las instalaciones térmicas con el fin de reducir la factura energética. Sus resultados indican, sin embargo, que dicha adaptación conllevaría a un consumo total de energía mayor.

Arteconi et al. (2014a, 2014b) analizaron igualmente de forma dinámica hasta tres estrategias de regulación de los equipos térmicos, empleando modelos de simulación en la herramienta *TRNSYS*. Dichas estrategias se basan, respectivamente, en reducir los picos de demanda (*peak-shaving*), interrumpir el consumo ante requerimientos esporádicos de la red (*random-request*), y desplazar el consumo a la noche (*night-shifting*). El primer trabajo, se centró en viviendas plurifamiliares situadas en Italia. Se consideraron varios sistemas térmicos, y se estudiaron tres muestras constructivas representativas no correspondientes a edificios construidos en ausencia de normativas de ahorro energético. El segundo trabajo, se enfocó en un edificio de oficinas de alta eficiencia energética, con elementos estructurales activados térmicamente, y situado en Bélgica. Estos estudios mostraron que el tipo de estrategia de GDE influye en el diseño de la instalación. A mayor eficiencia de la envolvente del edificio y menor duración del desplazamiento del consumo eléctrico, más posibilidades habría para gestionar la demanda exclusivamente con la masa térmica, pudiendo prescindirse de tanques de almacenamiento térmico, cuya presencia, según los cálculos, tiende a incrementar el consumo energético total. Esto indica, que el uso de la masa constructiva para adaptar el consumo de las instalaciones térmicas, podría posibilitar la simplificación de la configuración de la instalación general y la correspondiente transformación de los edificios a la hora de potenciar su interacción con el sistema eléctrico. Arteconi et al. (2014b) también concluyeron, que los edificios de alta eficiencia energética, de consumo de energía casi nulo (*nearly zero-energy*), tienen un interés reducido desde el punto de vista de la GDE en el ámbito del *Smart Grid* debido a su elevada independencia del sistema de abastecimiento energético.

En su estudio sobre la flexibilidad energética de viviendas unifamiliares en Dinamarca, Le Dréau y Heiselberg (2016) abordaron igualmente la influencia del estándar energético sobre la GDE. Para ello compararon el comportamiento energético de una vivienda de los años 80 con el de una casa pasiva. En este caso se definió una variante basada en sistema de radiadores y otra en suelo radiante. Las estrategias de GDE consideradas en este estudio fueron dos, *heat storage* (almacenamiento de calor) y *heat conservation* (ahorro de calor). Estas estrategias consisten, respectivamente, en el incremento y la reducción de la temperatura de consigna en dos grados centígrados. Los autores concluyeron que las diferencias respecto a la mayor autonomía de la casa pasiva, frente a la de menor eficiencia energética, resultan relevantes a la hora de controlar apropiadamente las estrategias de GDE.

Jungwirth (2014), por su parte, desarrolló en su disertación una herramienta de control predictivo para la regulación de los sistemas térmicos, y combinó dicha herramienta a través del software *LabView* con un modelo de simulación en *TRNSYS*. Dicho modelo consiste en una oficina situada en Alemania, de estándar energético correspondiente a la normativa actual, y estructura constructiva activada térmicamente. La función de la herramienta es la de optimizar la GDE en base a pronósticos meteorológicos, precios de la energía y condiciones de confort térmico. El trabajo muestra que es posible adaptar el funcionamiento de los sistemas térmicos respetando el confort del usuario gracias al uso de la masa térmica. Asimismo, los resultados apoyan las conclusiones de Bukvić-Schäfer (2008) acerca de la posibilidad de reducir los costes de la factura energética mediante la GDE.

Reynders et al. (2013) también abordaron el estudio del uso de este recurso. No obstante, partieron de un enfoque diferente consistente en su aprovechamiento para un sistema energético de escala

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.

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.



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.

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

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 ⁽¹⁾; León-Rodríguez, Ángel-Luis ⁽²⁾; Auer, Thomas ⁽³⁾

(1) Technical University of Munich, Universidad de Sevilla, manuel.de-borja-torrejón@tum.de

(2) Universidad de Sevilla, leonr@us.es

(3) Technical University of Munich, thomas.auer@tum.de

Resumen: Este artículo tiene como objetivo exponer un resumen del estado del arte y el planteamiento metodológico incluidos en la propuesta de investigación de una tesis doctoral en curso. La investigación trata sobre la gestión de demanda energética en edificios. Este recurso puede usarse para conciliar consumo y producción variable de electricidad a partir de fuentes renovables. Su aprovechamiento podría contribuir a favorecer el tránsito hacia un modelo energético basado en energías renovables y el logro de los objetivos climáticos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La tesis se centra en el potencial de gestión de la demanda asociado al uso de la masa constructiva, cuyas propiedades térmicas permiten adaptar el funcionamiento de los sistemas de calefacción y refrigeración, manteniendo el confort térmico. Se aborda el estudio del impacto del cambio climático y la mejora de la eficiencia energética del parque edificado sobre dicho potencial. Para ello se prevé, aplicando una combinación de método experimental y predictivo, el análisis comparativo del potencial actual y futuro de edificios residenciales en Europa, situados en zona climática continental y Mediterránea. La hipótesis considerada plantea que, debido al calentamiento global, el potencial podría aumentar en zona climática continental y disminuir en la zona Mediterránea. Asimismo, se contempla el supuesto de que la implantación generalizada de estándares constructivos de alta eficiencia energética reduciría drásticamente esos potenciales.

Palabras Clave: Cambio climático, Sistema energético, Eficiencia energética, Gestión de la demanda, Masa térmica.

1. Introducción

En la cumbre del clima de París de 2015, los países participantes acordaron que en la segunda mitad del siglo XXI las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) se limiten a niveles disipables de forma natural (United Nations 2015). Así pues, Europa aspira a reducir sus emisiones hasta 2050 en un 80-95% respecto a niveles de 1990. Para lograr este objetivo, la Comisión Europea (CE) ha diseñado una hoja de ruta con implicaciones para los sectores principales, con el fin de acometer la transición hacia un modelo energético más eficiente y basado fundamentalmente en energías renovables (European Commission 2016).

En base a estas directrices, en el sector de la edificación el recorte de emisiones debe alcanzar el 90%. La implantación de estándares energéticos más eficientes para construcciones de nueva planta, ofrece una contribución limitada debido a la baja proporción de este tipo de edificios. Asimismo, la rehabilitación del resto del parque edificado no va al ritmo deseado (European Commission 2017a).

Por otro lado, según la CE, el sector eléctrico es el que ofrece el mayor potencial de reducción de emisiones. La amplia integración de energías renovables en este sector representa una prioridad, que de manera ideal se acompañará de un paulatino desmantelamiento de plantas eléctricas convencionales, basadas en el consumo de combustibles fósiles. Sin embargo, esto plantea al sistema eléctrico el reto de garantizar la seguridad y asequibilidad del abastecimiento de electricidad en el futuro. La continuidad del suministro eléctrico requiere que se dé un equilibrio entre producción y demanda de electricidad. Dicho equilibrio se establece en la actualidad, fundamentalmente, mediante la gestión de la producción de electricidad en función de la demanda existente. Para ello, la posibilidad de controlar la generación mediante la regulación del funcionamiento de las plantas eléctricas convencionales resulta un aspecto esencial. Sin embargo, la producción de energía renovable, como la eólica y la fotovoltaica, presenta un carácter volátil debido a su dependencia de recursos naturales. La configuración de un sistema eléctrico basado principalmente en este tipo de

energías, precisa la aplicación de medidas que contribuyan, de una manera económica y técnicamente viable, a equilibrar una producción eléctrica de tipo fluctuante y la demanda de electricidad. Una de las alternativas para afrontar esta situación consiste en potenciar la *Gestión de la Demanda Energética* (GDE) en función de la disponibilidad de energía.

Estas circunstancias urgen a considerar una sinergia del sector de la edificación y el sector eléctrico, mediante la participación activa de los edificios como consumidores flexibles en el sistema eléctrico. Se trata de aprovechar el potencial de GDE asociado a la masa térmica del parque edificado. Dicho potencial deriva del uso de las propiedades térmicas de la masa constructiva para adaptar el funcionamiento y, por tanto, el consumo energético de los sistemas de calefacción y refrigeración, manteniendo el confort térmico. Los propósitos de esta sinergia entre sectores son múltiples. Por un lado, consiste en contribuir a regular el sistema eléctrico y a asegurar el abastecimiento de electricidad, favoreciendo la incorporación de energías renovables y la reducción de emisiones en el sector eléctrico. Por otro lado, pretende lograr recortes de emisiones adicionales en el sector de la edificación, mediante una mayor cobertura de las necesidades energéticas de los edificios con electricidad generada a partir de fuentes renovables por el sector eléctrico.

La investigación doctoral en la que se basa esta publicación, aspira a ampliar los conocimientos científicos en torno a la dimensión y disponibilidad del potencial mencionado. El trabajo, iniciado recientemente, y cotutelado por la Technical University of Munich (TUM) y la Universidad de Sevilla (US), tiene como objetivo principal, el análisis del impacto que el cambio climático y la implantación generalizada de estándares de alta eficiencia energética podrían tener sobre este recurso. Para ello, se aborda el estudio del potencial de GDE actual y futuro asociado a la masa térmica de edificios residenciales en Europa, comparando la situación en zona climática continental y mediterránea. El presente artículo tiene como objetivo, exponer un resumen del análisis del estado del arte y el planteamiento metodológico, que fueron elaborados para definir la propuesta de investigación.

2. Métodos

Para el estudio del estado del arte, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en las bases de datos de *Web of Science*, *Scopus*, *Google Scholar* y *mediaTUM*. Se emplearon las palabras clave *gestión de demanda energética*, *gestión de carga*, *masa térmica*, *sistema energético*, *sistema eléctrico*, *cambio climático* y *calentamiento global*. La búsqueda se realizó en español, inglés y alemán, y se limitó a trabajos publicados desde 2007. A partir de los resultados obtenidos se realizó una primera selección de referencias en base a la afinidad con el tema de esta investigación doctoral, la *GDE de edificios asociada a la masa térmica*. Para ello se analizaron principalmente los objetivos y resultados de los diferentes trabajos. A continuación se llevó a cabo un estudio más detallado de la selección. Para ello se analizó en las publicaciones, adicionalmente, la información relativa a objeto de estudio, procedimientos, métodos y herramientas. En base a dicho estudio, las fuentes se clasificaron en tres grupos. El primero de ellos se corresponde con trabajos que apuntan la relevancia del papel que la GDE podría jugar en la integración satisfactoria de energías renovables en el sistema eléctrico. El segundo grupo contiene referencias que ponen de manifiesto el posible uso de la masa térmica de los edificios para flexibilizar su demanda y favorecer la integración mencionada. El tercer grupo tiene como fin abarcar ejemplos de distintos métodos de estimación del potencial de GDE de los edificios. Como consecuencia de la estructura de clasificación planteada, algunos trabajos fueron ubicados en más de un grupo. El resumen del estado del arte expuesto en este artículo, recoge un total de 15 referencias científicas, abarcando diferentes tipos de publicaciones.

El planteamiento metodológico de la propuesta de investigación se elaboró en base a las conclusiones extraídas del análisis del estado del arte. Para su definición se realizó una estimación de necesidades para el logro de los objetivos del trabajo, y un análisis de los recursos disponibles. Se distinguió entre recursos *documentales* (acceso a referencias bibliográficas y datos), *informáticos* (programas de cálculo, de simulación y de predicción), *experimentales* (instalaciones de ensayo y equipos de medida), *personales* (asesoramiento y supervisión), y *económicos* (financiación). Adicionalmente se llevó a cabo una concreción inicial de la muestra objeto de estudio. Finalmente se establecieron los procedimientos, herramientas y métodos a aplicar. Para ello se tuvo en cuenta la información analizada en el estudio del estado del arte, prestando especial atención a los métodos empleados en los trabajos seleccionados.

3. Resumen del estado del arte

En la literatura vinculada a la materia pueden encontrarse diferentes términos relacionados con la GDE. Una muestra de ello la ofrecen Benetti et al. (2016), quienes diferencian en su artículo entre *Demand-Side Management (Gestión de la Demanda Energética)*, *Demand Response (Respuesta de la Demanda)* y *Electric Load Management (Gestión de la Carga Eléctrica)*. Por otro lado, Hausladen et al. (2014) distinguen entre los términos en alemán *Energiemanagement (Energy Management: Gestión Energética)* y *Lastmanagement (Load Management: Gestión de la Carga)*. Jungwirth (2014) hace referencia igualmente a esta variedad terminológica. Si bien la descripción de los términos citados contemplan en ocasiones ligeros matices diferenciadores, que hacen referencia a aspectos conceptuales particulares de los mismos, Jungwirth comenta que el uso de los distintos términos no está claramente definido de manera generalizada. Como consecuencia, llegan a emplearse de manera indistinta en gran parte de la literatura disponible. Así pues, Jungwirth considera *Demand-Side Management* y *Lastmanagement* como sinónimos y los define de la siguiente manera: *Demand Side Management/Lastmanagement ist eine zeitliche Verschiebung oder Anpassung der Verbraucherlast aufgrund wirtschaftlicher Anreize. (Gestión de la Demanda Energética / Gestión de la Carga es un desplazamiento o adaptación temporal de la carga de consumo debido a incentivos económicos)*.

Partiendo de esta interpretación, en la propuesta de investigación doctoral la GDE se ha definido de manera más amplia y simplificada como la *adaptación intencionada del consumo eléctrico*. Se considera así, que la GDE podría deberse también a otros factores, como la disponibilidad de energía baja en emisiones. Por otro lado, el concepto de potencial de GDE de los edificios asociado a su masa térmica, consiste en la *capacidad de adaptar intencionadamente la curva de demanda de electricidad para calefacción y refrigeración, manteniendo el confort térmico del usuario, mediante el aprovechamiento de las propiedades térmicas de la masa constructiva*.

3.1. Sistema eléctrico e integración de energías renovables a través de GDE

En este ámbito caben destacar los siguientes trabajos centrados en el caso de Alemania. El estudio de Klobasa (2007) muestra, que ante una mayor presencia de energías renovables en el futuro, la regulación del sistema eléctrico incorporando la GDE supondría una alternativa más económica, que la gestión exclusiva de la producción de electricidad para asegurar el suministro eléctrico. Para su estudio desarrolló un modelo de simulación, en el que analizó diferentes grados de integración de energía eólica en el sistema de abastecimiento de Alemania. En sus cálculos implementó estimaciones de la cantidad de consumo de electricidad adaptable de los sectores industrial, terciario y residencial. Dichas estimaciones muestran valores significativos de adaptabilidad energética relacionados con el acondicionamiento térmico y la calefacción.

La seguridad del sistema energético fue abordado también por Lüking y Hauser (2011). Estos autores sostienen que para el logro de los objetivos de reducción de GEI y la seguridad del suministro en el futuro, resulta fundamental sustituir el consumo de combustibles fósiles por electricidad. Asimismo defienden la conveniencia de considerar a los edificios, no exclusivamente como consumidores, sino como parte integrante del sistema de abastecimiento energético. Para respaldar estas tesis, realizaron un cálculo del calor almacenable en la masa térmica del sector residencial en Alemania. Concluyeron que la capacidad térmica de la masa constructiva de estas edificaciones sería suficiente para aprovechar excedentes de electricidad producida a partir de fuentes renovables en el futuro.

En su disertación, Heilek (2015) concluyó que un mayor y coordinado uso de sistemas basados en el consumo de electricidad para resolver las necesidades de calefacción y refrigeración, en combinación con el empleo de acumuladores térmicos, conllevaría a una cobertura de la demanda térmica, más económica y ligada a menos emisiones. Adicionalmente, Heilek indicó que esto favorecería la reducción de los costes del suministro eléctrico y disminuiría la necesidad de tener que incorporar sistemas de almacenamiento eléctrico suplementarios.

El estudio de las consecuencias del uso del potencial de almacenamiento térmico del parque edificado sobre el desarrollo del sistema eléctrico alemán, constituyen el objetivo principal del proyecto de investigación de Dornmair et al. (2017). Análisis realizados en el marco de este trabajo, muestran que las emisiones de CO₂ por unidad de energía eléctrica producida en 2050, se reducirían en Alemania en el caso de una cobertura total por parte del sistema eléctrico de la demanda energética de calefacción del sector residencial y terciario (oficinas). Los cálculos contemplan una tasa de energía renovable en la producción eléctrica del 80% para esa fecha. Los resultados se basan en la comparación con aquellos obtenidos del análisis de otro escenario, en el que el uso de gas y otros combustibles predominan en la cobertura de las necesidades térmicas de los sectores

menor. Este se corresponde con el conjunto que forman un objeto arquitectónico individual (edificio), incluyendo sus instalaciones térmicas, y una instalación fotovoltaica de autoconsumo. Se investigó el efecto de las propiedades térmicas de la masa constructiva sobre un tipo de GDE enfocada a maximizar el aprovechamiento de dicha instalación fotovoltaica y, por tanto, también el uso de energía renovable. Para ello se empleó como objeto de estudio un caso representativo de vivienda unifamiliar en Bélgica, del que elaboraron diversos modelos de simulación usando la herramienta *Modelica*. Se consideraron tres niveles de aislamiento térmico de la envolvente, correspondientes con tres estándares de eficiencia energética recogidos en la normativa local actual. Asimismo, se contemplaron una versión con materiales constructivos masivos y otra con materiales ligeros, de menor capacidad térmica. Los análisis se llevaron a cabo en régimen de calefacción, usando un perfil climático correspondiente al clima dominante en Bélgica. Respecto a las instalaciones térmicas se definieron igualmente dos variantes, consistentes en una bomba de calor hidrónica central combinada con radiadores y con suelo radiante, respectivamente. Los resultados de la investigación muestran que no sólo la disposición de mayor capacidad de almacenamiento térmico resulta relevante a la hora de influenciar la demanda energética, sino que la interacción entre la masa térmica y el tipo de instalación térmica también juega un papel importante. La diferente capacidad de reacción de los radiadores frente al suelo radiante deriva en la necesidad de gestionar la demanda de manera distinta para respetar las condiciones de confort requeridas. Aunque en las variantes estudiadas, las posibilidades de aumentar la cobertura total de energía demandada mediante la instalación fotovoltaica resultó limitada, los autores resaltaron que el uso de la masa térmica ofrece un gran potencial para desplazar los picos de demanda eléctrica a momentos *valle*, donde la demanda suele ser inferior al valor medio diario.

3.3. Estimación del potencial de GDE de los edificios

En cuanto a la estimación de potenciales, podemos diferenciar métodos que se basan esencialmente en datos de potencia instalada de los sistemas térmicos. Este tipo de método no considera la capacidad de almacenamiento térmico de la masa constructiva de los edificios, y sus resultados ofrecen un valor de demanda energética total del parque edificado existente, teóricamente adaptable. Ejemplos de este tipo de estimación figuran en los estudios de Klobasa (2007) y de Jungwirth (2014). Un segundo tipo de método lo constituye el basado en el cálculo de la cantidad de calor almacenable en la masa constructiva. Parte de aproximaciones acerca de la composición y dimensión de la masa constructiva de los edificios, y consiste en la multiplicación de la correspondiente cantidad de masa térmica por valores de calor específico determinados. Este método es aplicado por Lüking y Hauser (2011) y por Jungwirth (2014) en sus estudios. Las estimaciones de este método, al igual que las del método descrito anteriormente, no consideran el comportamiento térmico de la masa constructiva en régimen dinámico, ni la influencia del tipo de sistema térmico.

El método desarrollado por Hausladen et al. (2014) en su estudio, engloba estas cuestiones. Se empleó para llevar a cabo una estimación del potencial de GDE actual en Alemania. Para ello se realizó una categorización del parque edificado. A partir de ello, se seleccionaron como casos de estudio tipologías edificatorias representativas de los sectores terciario (oficinas y comercios) y residencial (viviendas unifamiliares y plurifamiliares). Se consideraron dos estándares energéticos, uno correspondiente a edificios construidos bajo la normativa vigente, y otro de baja eficiencia energética, propio de edificios existentes anteriores a la introducción de dicha normativa. Para cada combinación edificio-estándar se elaboró un modelo de simulación en la herramienta *IDA-ICE*. Dichos modelos se utilizaron para determinar el potencial de GDE de las diferentes muestras de estudio, que posteriormente se emplearon para estimar el potencial total de los sectores terciarios y residencial.

En este estudio se consideran dos estrategias de GDE basadas en el apagado y el encendido intencionado de los sistemas térmicos, respectivamente.

Los potenciales calculados con este método se corresponden con la cantidad estimada de energía que podría ser gestionada durante la aplicación de las estrategias de GDE. Dicho valor se determina mediante la integración matemática de dos parámetros. El primero de ellos se corresponde con la duración de la estrategia de GDE. Consiste en el *tiempo* que tarda la temperatura interior en abandonar el rango de confort, tras activarse o desactivarse intencionadamente el sistema térmico. Dicho rango queda delimitado entre un valor de temperatura máximo y uno mínimo establecidos. El segundo de los parámetros consiste en la diferencia entre la *potencia* térmica que, según el caso, es posible dejar de suministrar o aportar de manera adicional tras alterar el funcionamiento del sistema térmico, y la potencia térmica que sería necesaria para mantener constante el valor inicial de la temperatura interior al comienzo de la estrategia de GDE.

Los resultados del trabajo de Hausladen et al. (2014), muestran que el parque edificado alemán dispone de un importante potencial de GDE asociado al uso de su masa térmica para adaptar intencionadamente el uso de los sistemas térmicos. Asimismo, el estudio pone de manifiesto que el potencial de GDE depende de aspectos propios de la edificación, entre ellos, la eficiencia energética de la envolvente, cargas internas, el sistema constructivo y los materiales (masivos, ligeros), o el tipo de instalación térmica. Así pues, se observa de manera general que cuanto mejor es el estándar energético del edificio, mayor es el tiempo que puede mantenerse el confort térmico tras desactivarse el sistema de calefacción, pero menor es la demanda energética que puede ajustarse como parte de una estrategia de GDE de la red de suministro (como puede ser la reducción de picos de consumo). De lo mostrado en el estudio cabe destacar además, que las condiciones climáticas del entorno constituyen un factor decisivo, definitorio del potencial de GDE. Esto es algo que también fue apuntado previamente por Bukvić-Schäfer (2008). Así pues, dicho potencial es diferente en invierno y en verano, y durante el día y la noche. Los resultados indican, que el potencial es mayor para condiciones climáticas moderadas y menor para situaciones de clima extremo.

3.4. Conclusiones relevantes del estudio del estado del arte

Como se desprende de los estudios descritos en los apartados anteriores, la GDE puede ayudar a regular el suministro eléctrico, favoreciendo una reducción de los requerimientos a nivel económico y técnico del tránsito hacia un sistema eléctrico basado en energías renovables. Asimismo, la GDE, en combinación con bonificaciones y tarifas eléctricas destinadas a su promoción, ofrecería a los usuarios la posibilidad de reducir la factura energética. Esto, a su vez, podría ser aprovechado para combatir la pobreza energética, un fenómeno aún por erradicar, que según el estudio de Pye et al. (2015), encargado por la CE, afectaba en 2012 a 54 millones de personas en Europa.

Por otro lado, el consumo de los sistemas de calefacción y refrigeración en los edificios puede adaptarse mediante el uso de la masa constructiva. Sus propiedades térmicas permiten variar el funcionamiento de dichos sistemas, manteniendo la temperatura del ambiente interior dentro del rango de confort térmico. El parque edificado dispone de un importante potencial de GDE asociado a dicha adaptabilidad. Este potencial podría ser aprovechado por el sistema eléctrico en caso de establecerse una mayor interacción entre el sector de la edificación y el sector eléctrico, contribuyendo al logro de los objetivos climáticos de reducción de emisiones de GEI.

Cabe también destacar, que la dimensión y característica del potencial de GDE asociado al uso de la masa térmica estarían definidas por las condiciones climáticas de entorno y los atributos constructivos del parque edificado. Así pues, condiciones climáticas extremas conducirían a potenciales menores que situaciones de clima moderado, y mientras menor es el estándar de eficiencia energética del edificio, mayor sería la demanda que podría ser gestionada en menor tiempo.

Estos descubrimientos permiten suponer que el potencial de GDE podría variar significativamente en el futuro, en función de fenómenos relacionados con el calentamiento global y la transformación del conjunto edificado. Según el informe sobre el cambio climático del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2013), se prevé que el calentamiento global afectará de forma diferente al norte y al sur de Europa. Mientras el clima en la zona norte irá moderándose (aumentando la temperatura media, especialmente en invierno, donde además aumentarán las mínimas, disminuyendo la variabilidad), en la zona sur se irá haciendo más extremo (subiendo la temperatura media, mayormente en verano, donde asimismo aumentará la variabilidad al crecer las máximas). Por otro lado, el Parlamento Europeo establece en su directiva 2010/31/EU que a partir de 2020 todos los edificios de nueva construcción deben ser de consumo de energía casi nulo (European Parliament 2010). Sin embargo este tipo de edificios tendrían poca relevancia desde el punto de vista de la GDE en una red de suministro eléctrico inteligente, debido a su mayor grado de independencia energética.

El aprovechamiento del potencial de GDE como recurso complementario destinado a contribuir al cumplimiento de los objetivos climáticos de recorte de emisiones de la CE, precisa que las decisiones del presente sobre la transformación del parque edificado y del sistema energético del futuro, tengan en consideración la posible evolución de la disponibilidad de dicho potencial a largo plazo. Esto resulta de especial relevancia para países como Alemania y España, que constituyen el primer y segundo mayor productor de energía (*fluctuante*) eólica y solar de Europa respectivamente, según datos oficiales del Instituto de Estadística Europeo (Eurostat 2016). No obstante, si bien existen análisis y estimaciones del potencial de GDE de edificios en Europa ubicados en zona climática continental, los estudios de la situación en zona climática Mediterránea son escasos. El uso de distintos métodos y la definición de diferentes supuestos de cálculo, dificultan una comparación de los resultados de los trabajos existentes sobre la GDE y el potencial asociado a la masa térmica

consultados. Asimismo, en ninguno de estos casos, se han implementado datos climáticos elaborados a partir de pronósticos de evolución del clima en el futuro en los cálculos.

4. Planteamiento metodológico

Para alcanzar los objetivos del proyecto de investigación doctoral, se plantea la aplicación de un sistema combinado de método experimental y predictivo. La Figura 1 muestra la estructura del desarrollo de dicha metodología.

En el trabajo deberá compararse el potencial de GDE actual y futuro de edificios en Europa situados en clima continental y en clima Mediterráneo. Este estudio comparativo permitirá contrastar la dimensión y característica del potencial en dichas regiones, cuyas condiciones climáticas particulares, dan lugar a diferencias en términos de demanda energética de calefacción y refrigeración en edificios de características constructivas similares. Como caso de estudio se emplearán el parque edificado en Múnich (Alemania) y Sevilla (España), considerados como ejemplo de localización en clima continental y Mediterráneo respectivamente. La investigación se centrará en edificios pertenecientes al sector residencial. Como indica la CE, sobre dicho sector recae la mayor cantidad de energía consumida para calefacción y refrigeración (European Commission 2017b). La cotutela de la TUM y la US ofrece un marco propicio para el análisis del parque edificado residencial en las localizaciones mencionadas y, en general, para el desarrollo satisfactorio del proyecto de investigación. Cabe destacar que la investigación se apoya en el trabajo llevado a cabo previamente en los estudios de Hausladen et al. (2014) y Dornmaier et al. (2017) citados anteriormente.

Lo desarrollado en el apartado 3.4 permite plantear la hipótesis de que en el futuro, el potencial de GDE del parque edificado asociado al uso de su masa térmica variará drásticamente a causa del calentamiento global. Dicha variación afectará de manera diferente a distintas regiones en Europa. Debido a la moderación del clima en el área continental, el potencial actual del parque residencial existente en Munich aumentará en invierno y se mantendrá en verano. En Sevilla el potencial actual disminuirá tanto en invierno como en verano, al hacerse más extremo el clima en la zona Mediterránea. Asimismo, una transformación del parque edificado de acuerdo con las directrices institucionales actuales provocará una reducción crítica de esos potenciales, a causa de la reducción de la demanda energética de los edificios y, por consiguiente, de su influencia sobre el sistema eléctrico.

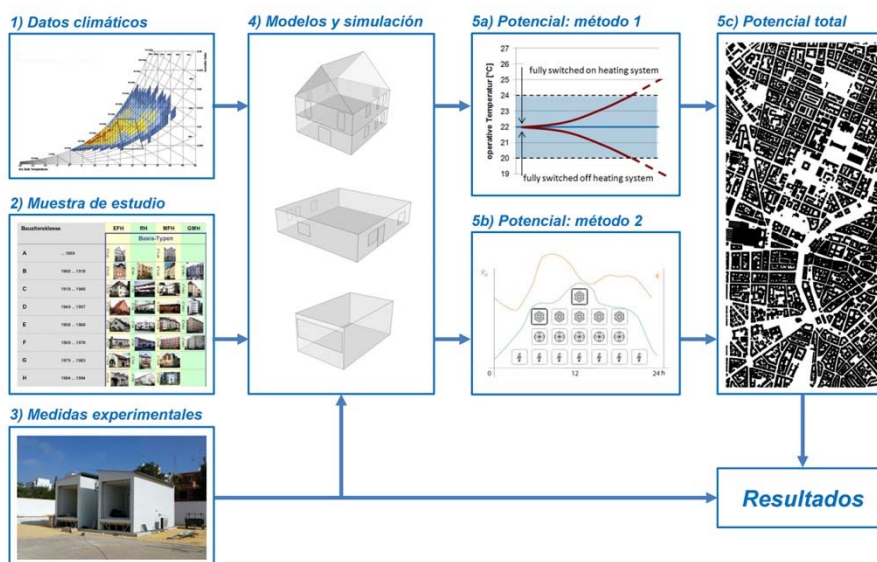


Fig. 1 Esquema del desarrollo de los métodos propuestos para la investigación doctoral

4.1. Recopilación y análisis de datos climáticos

Para la obtención de datos climáticos se plantea el uso de *Meteonorm*. Esta herramienta dispone de una base de datos climatológicos de numerosas localizaciones geográficas. Junto a datos registrados en estaciones meteorológicas, ofrece predicciones de evolución de los parámetros climáticos desde 2020 hasta 2100, en períodos de 10 años. Dichas predicciones se basan en escenarios de emisiones

de gases de efecto invernadero definidos por el IPCC (2013). En la investigación son considerados datos relativos a temperatura, humedad, radiación solar, velocidad y dirección del viento. El análisis se centra principalmente en la situación climática actual y en la estimada para 2020, 2050 y 2100.

4.2. Definición de la muestra de estudio.

El análisis del parque residencial de Munich y Sevilla se prevé como base para la definición de la muestra de estudio. Este análisis consiste tanto en la identificación de los edificios residenciales y su agrupación por tipologías en cada localización, como su clasificación según año de construcción, normativa energética y estado (original o rehabilitado). La muestra de estudio representará a las tipologías residenciales más representativas. La definición de sus características constructivas y técnicas se basa en el uso del conjunto de datos elaborado en el marco del proyecto europeo IEE-TABULA (IEE Project TABULA 2009-2012). En dicho estudio se llevó a cabo una clasificación tipológica de los edificios residenciales de 13 países europeos para su evaluación energética. Incluye datos referentes a los tipos constructivos residenciales en Alemania y España, analizados respectivamente por el *Institut Wohnen und Umwelt* (Loga et al. 2015) y el Instituto Valenciano de la Edificación (Madrigal et al. 2016). Ofrece una clasificación de edificios unifamiliares y plurifamiliares en función de la edad de la construcción y sus características técnicas. Junto a las propiedades de la envolvente, también muestra información acerca de las instalaciones térmicas más representativas en cada caso. El conjunto de datos mencionado se elaboró siguiendo directrices generales comunes, lo que favorece la comparabilidad entre la estructura del sector residencial en las localizaciones estudiadas en la investigación.

4.3. Realización de medidas experimentales

A través medidas experimentales se persigue el estudio del comportamiento térmico y energético de elementos constructivos presentes en las tipologías residenciales pertenecientes a la muestra de estudio, en condiciones ambientales reales en clima mediterráneo. De especial relevancia se considera la transmisión de calor a través de diferentes soluciones constructivas de cerramiento vertical, y el efecto amortiguador de su inercia térmica en las condiciones ambientales interiores.

La realización de las medidas experimentales se basa en el uso de las celdas de ensayo construidas en el marco del proyecto de investigación CELDA, realizado en la US (TEP130 2015). Este proyecto se centró en la rehabilitación energética y ambiental de viviendas sociales en Andalucía, y su objetivo principal fue el estudio y optimización de soluciones constructivas para la rehabilitación de elementos verticales de la envolvente térmica. Las dimensiones de las celdas de ensayo se corresponden con las de una habitación tipo de una vivienda, presente en un amplio número de tipologías residenciales existentes en la ciudad de Sevilla. Las celdas disponen de un cerramiento exterior vertical extraíble, que puede ser intercambiado por otro de solución constructiva diferente. El resto de elementos horizontales y verticales de las celdas, están resueltos constructivamente a modo cerramiento de cámara frigorífica. Esto permite minimizar la transmisión de calor a través de ellos, derivando en un comportamiento asumiblemente adiabático de estos elementos. Con el fin de estudiar la relevancia del efecto de la masa térmica sobre la demanda energética, diferentes niveles de masa térmica expuesta deberán ser analizados. Para ello, se prevé la incorporación de materiales constructivos masivos y de elevado calor específico sobre el suelo y los elementos verticales descritos.

Los datos obtenidos, además de servir para generar resultados susceptibles de ser de gran interés a nivel científico en el área temática acometida en la presente investigación, se emplearán para optimizar los modelos de simulación de la muestra de estudio, y comprobar su plausibilidad.

4.4. Modelización y simulación de la muestra de estudio

Los datos resultantes de las actividades descritas anteriormente constituyen la base de los modelos de simulación de la muestra de estudio. Para su elaboración se plantea el uso de *TRNSYS* y *TrnLizard*. *TRNSYS* es un software que permite simular el comportamiento de diferentes tipos de sistemas en régimen dinámico. Una de las aplicaciones de dicha herramienta consiste en la simulación energética de modelos de edificios o partes del mismo. Especial interés tiene la posibilidad de estudiar el rendimiento a nivel térmico de objetos constructivos. *TRNSLizard* consiste en una aplicación que permite combinar simulaciones en régimen dinámico en *TRNSYS* con el análisis de

variantes de forma paramétrica utilizando la aplicación *Grasshopper*. El empleo de dicho entorno se prevé para la implementación de una herramienta de control predictivo en las simulaciones de la muestra de estudio.

4.5. Estimación y comparación de los potenciales de GDE

Para la evaluación de las posibilidades que ofrece la masa térmica de los edificios en la adaptación del funcionamiento de sus sistemas térmicos, se considera como requisito fundamental en la investigación el mantenimiento del confort térmico. Se contempla la definición de rangos de referencia basados en los valores de la norma DIN EN 15251. Esta norma contiene valores recomendables de temperatura interior máxima y mínima según el tipo de edificación y el régimen térmico (calefacción o refrigeración). Dichos valores representan los límites de las estrategias de GDE en los análisis.

Se consideran dos métodos de estimación del potencial de GDE de la muestra de estudio. Uno de ellos se basa en el método aplicado por Hausladen et al. (2014). Consiste en la evaluación de la duración máxima de la estrategia de GDE tras apagar o encender intencionadamente los sistemas térmicos, y la demanda de electricidad ajustable en ese período de tiempo. El otro método toma como referencia los estudios de Jungwirth (2014) y de Reynders et al. (2013). Se basa en el cálculo de los costes del consumo energético para calefacción y refrigeración, y su grado de cobertura mediante energía renovable, teniendo en cuenta un ajuste inteligente del uso de los sistemas térmicos. Dicho ajuste lo establece la herramienta de control implementada en los modelos de simulación, en base a valores variables del precio de la electricidad y pronósticos meteorológicos. El funcionamiento de los sistemas térmicos se gestiona de este modo, con el fin de optimizar el coste de la factura energética. Considerando que cuanto mayor es la tasa de energía renovable en la producción del sistema eléctrico, menor es el precio de la electricidad, es posible plantear una relación entre el importe de la factura energética y la cobertura de electricidad generada a partir de fuentes renovables.

La Tabla 1, resume los pasos principales en los que se estructuran estos métodos. Se prevé una estimación del potencial total de GDE del sector residencial de Munich y Sevilla mediante la extrapolación de los potenciales individuales de las muestras de estudio al conjunto construido.

Tabla 1. Pasos en los que se estructuran los métodos de estimación del potencial de GDE considerados.

Método 1	
•	Usando los modelos elaborados, realización de simulaciones térmicas en régimen dinámico, consistentes en el cálculo de la evolución de la temperatura interior a partir del momento en el que se desactiva o activa intencionadamente el sistema térmico. Para cada modelo y estrategia de GDE (activación o desactivación), realización de <i>una</i> simulación térmica por cada hora del año analizado, tomando dicha hora como momento de inicio de la estrategia de GDE, y empleando como temperatura interna de inicio en la simulación, la equivalente al valor medio de la temperatura máxima y mínima del rango de confort térmico.
•	De los resultados obtenidos en las simulaciones anteriores, determinación en cada caso de los valores:
–	<i>Tiempo</i> : duración máxima posible de la estrategia de GDE, correspondiente con tiempo máximo que, tras el inicio de la estrategia de GDE, el sistema térmico puede permanecer desactivado o activado hasta que la temperatura interior exceda los límites del rango de confort.
–	<i>Potencia</i> : la diferencia entre la potencia térmica que es posible dejar de suministrar o aportar de manera adicional, y la potencia que sería necesaria para mantener la temperatura interior de inicio de manera constante durante la duración máxima de la estrategia de GDE.
•	Usando los valores determinados en el paso anterior, cálculo en cada caso de:
–	El potencial de GDE en cada hora del año, integrando los parámetros <i>Tiempo</i> y <i>Potencia</i> .
–	Valores medio del potencial en régimen de calefacción y de refrigeración, así como valores medios anuales.
Método 2	
•	Usando los modelos elaborados, realización de simulaciones térmicas en régimen dinámico, contemplando un periodo de simulación total de un año completo. Para cada modelo, realización una simulación por cada uno de los siguientes modos de funcionamiento de los sistemas térmicos:
–	<i>Estándar</i> : los sistemas térmicos actúan manteniendo de manera constante la temperatura interior de inicio de la simulación. Dicha temperatura es equivalente al valor medio de la temperatura máxima y mínima del rango de confort térmico.
–	<i>Optimizado</i> : el funcionamiento del sistema térmico es regulado con por una herramienta de control en base a precios variables de la electricidad, con el fin de optimizar el coste de la factura energética. En este caso, la temperatura interior puede variar dentro del rango de confort, definido por los correspondientes valores de temperatura máximo y mínima.
•	De los resultados obtenidos en las simulaciones anteriores, estimación del potencial de GDE en base a:
–	La reducción del precio de la factura energética en régimen <i>Optimizado</i> con respecto al régimen <i>Estándar</i> .
–	La reducción de emisiones asociada al consumo eléctrico en régimen <i>Optimizado</i> con respecto al <i>Estándar</i> .
•	Cálculo en cada caso del potencial anual, así como en régimen de calefacción y refrigeración.

5. Conclusiones

El estudio del estado del arte indica que el parque edificado dispondría de un cierto potencial de GDE asociado al uso de la masa térmica, cuyo aprovechamiento para la regulación del sistema eléctrico podría contribuir a favorecer la integración de energías renovables y el logro de los objetivos climáticos de reducción de emisiones, tanto en sector de la edificación como en el sector eléctrico. Empleando como caso de estudio el parque edificado de Múnich (Alemania) y Sevilla (España), se afronta una investigación doctoral tutelada por la TUM y la US, en la que se analiza la disponibilidad a largo plazo de dicho potencial en zona climática continental y Mediterránea. Para ello, se aplica un método mixto experimental y predictivo, y se consideran diversos escenarios tanto de evolución del clima debido al calentamiento global, como de transformación del parque edificado. La investigación se basa en el supuesto de que el potencial de GDE del parque edificado aumentará en zonas de clima continental y se reducirá en el área Mediterránea debido al calentamiento global, mientras que un incremento generalizado en la proporción de edificios de estándares constructivos de alta eficiencia energética, minimizará ese potencial independientemente de la ubicación. De confirmarse con los resultados de la investigación, esta situación precisaría ser considerada en la planificación del futuro desarrollo del sector de la edificación y del sistema eléctrico en Europa. Cabría, por tanto, discutir una revisión de las estrategias de mejora de la eficiencia del parque edificado, así como la incorporación de medidas constructivas alternativas, específicas a nivel regional, con el fin de mantener o incluso incrementar el potencial de GDE de los edificios a largo plazo.

6. Referencias

- Arteconi A, Costola D, Hoes P, Hensen JLM (2014a) Analysis of control strategies for thermally activated building systems under demand side management mechanisms. *Energy and Buildings* 80:384-393
- Arteconi A, Polonara F, Brandoni C (2014b) Demand side management of the built environment for sustainable energy. *WIT Transactions on Ecology and the Environment* 190:723-734
- Benetti G, Caprino D, Della Vedova ML, Facchinetti T (2016) Electric load management approaches for peak load reduction: A systematic literature review and state of the art. *Sustainable Cities and Society* 20:124-141
- Bukvić-Schäfer AS (2008) Lastmanagement: Nutzung der thermischen Kapazität von Gebäuden als nichtelektrischer Energiespeicher in elektrischen Versorgungsnetzen. Dissertation, Kassel University
- Dornmaier R, Atabay D, Sängler F, de Borja Torrejón M, Maderspacher J (2017) Einfluss von Gebäuden als Wärmespeicher auf das Energiesystem. 10. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien (IEWT 2017). Wien
- European Commission (2016) 2050 low-carbon economy. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en Accessed 26 Apr 2017
- European Commission (2017a) EU Building Database. Annual share of residential buildings undergoing major renovation. Available: <http://ec.europa.eu/energy/en/eu-buildings-database> Accessed 17 Sep 2017
- European Commission (2017b) Heating and cooling. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling> Accessed 13 Jul 2017
- European Parliament (2010) Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Available: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>
- Eurostat (2016) File:Primary production of renewable energy, 2004 and 2014 YB-16.png. Available: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Primary production of renewable energy, 2004 and 2014 YB16.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Primary_production_of_renewable_energy,_2004_and_2014_YB16.png) Accessed 2 Apr 2017
- Hausladen G, Auer T, Schneegans J, Klimke K, Riemer H, Trojer B, Qian L, de Borja Torrejón M (2014) Lastverhalten von Gebäuden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bauweisen und technischer Systeme. Speicher- und Lastmanagement-potenziale in Gebäuden. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Heilek C (2015) Modellgestützte Optimierung des Neubaus und Einsatzes von Erzeugungsanlagen und Speichern für elektrische und thermische Energie im deutschen Energiesystem. Dissertation, Technical University of Munich
- IEE Project TABULA (2009-2012) Typology Approach for Building Stock Energy Assessment. <http://episcopes.eu/iee-project/tabula/> Accessed 9 May 2017

IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Jungwirth J (2014) Lastmanagement in Gebäuden. Entwicklung einer modellprädiktiven Regelung mit einem adaptiven Gebäudemodell zur Flexibilisierung der Wärme- und Kälteversorgung von Gebäuden. Dissertation, Technical University of Munich

Klobasa M (2007) Dynamische Simulation eines Lastmanagements und Integration von Windenergie in ein Elektrizitätsnetz auf Landesebene unter regelungstechnischen und Kostengesichtspunkten. Dissertation, ETH Zurich

Kuhn P (2012) Iteratives Modell zur Optimierung von Speicherausbau und -betrieb in einem Stromsystem mit zunehmend fluktuierender Erzeugung. Dissertation, Technical University of Munich

Le Dréau J, Heiselberg P (2016) Energy flexibility of residential buildings using short term heat storage in the thermal mass. Energy 111:991-1002

Loga T, Stein B, Diefenbach N, Born R (2015) Deutsche Wohngebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von Typischen Wohngebäuden. Zweite erweiterte Auflage. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt. Available: http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/DE_TABULA_TypologyBrochure_IWU.pdf

Lüking R-M, Hauser G (2011) Die thermische Konditionierung von Gebäuden im Kontext eines zukünftigen Energieversorgungssystems. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Madrigal LO, García-Prieto Ruiz A, Serrano Lanzarote B, Soto Francés L (2016) Catálogo de tipología edificatoria residencial. Ámbito: España. Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) . VALENCIANA, Valencia

Pye S, Dobbins A, Baffert C, Brajkovic J, Grgurev I, De Miglio R, Deane P (2015) Energy poverty and vulnerable consumers in the energy sector across the EU: analysis of policies and measures. INSIGHT_E. Available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/INSIGHT_E_Energy%20Poverty%20-%20Main%20Report_FINAL.pdf

Reynders G, Nuytten T, Saelens D (2013) Potential of structural thermal mass for demand-side management in dwellings. Building and Environment 64:187-199

TEP130 (2015) CELDA: rehabilitación energética y ambiental de viviendas sociales en Andalucía: Evaluación con celdas de ensayo. <https://grupo.us.es/grupotep130/es/proyectos/historico/610-celda>. Accessed 8 May 2017

United Nations (2015) Paris Agreement. Available: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf

7. Agradecimientos

A C. Harris por su revisión de la versión en inglés de este artículo, y a los revisores de la revisión por pares ciegos por sus comentarios.