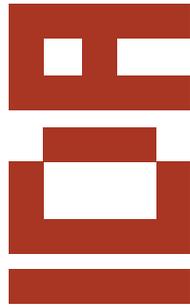


SEVILLA

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

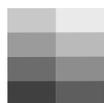
SEVILLA

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*

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

Normativas relativas al riesgo sísmico en España y Portugal

El marco legal sobre el que se sustenta el diseño sismorresistente de edificios en España, así como la gestión de emergencias y prevención de catástrofes, se compone de los siguientes decretos y leyes:

- Código Técnico de la Edificación (CTE) (Ministerio de Fomento de España s. f.).
- Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, por el que se aprueba la nueva Norma de construcción sismorresistente (Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) 2002).
- Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil (Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil 2015) y Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil (Ley 2/1985 sobre Protección Civil 1985).
- Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, por el que se aprueba la Norma Básica de Protección Civil (Norma Básica de Protección Civil Real decreto 407/1992, de 24 de Abril 1992).
- Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico (Resolución de 5 de mayo de 1995, por la que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico 1995).
- Modificación de la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo sísmico (Resolución del 17 de Septiembre de 2004 de la Secretaría, por la que se modifica la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo sísmo 2004)
- Real Decreto 1053/2015, de 20 de noviembre, por el que se aprueba la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de maremotos (Real Decreto 1053/2015 por el que se aprueba la directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de maremotos 2015)

En el caso de Portugal, es de aplicación:

- La UNE-EN 1998-1. Eurocódigo 8: Proyectos de estructuras sismorresistentes (Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings 2006).

La investigación sobre al riesgo sísmico a día de hoy: estudios en la Península Ibérica

La estimación de los terremotos y la evaluación del riesgo sísmico de edificios son más fiables a medida en que se intensifican las investigaciones. Pese a la complejidad que supone el fenómeno, numerosos autores establecen nuevas metodologías para la evaluación y valoración del riesgo y vulnerabilidad sísmica de los edificios.

En general, las metodologías para el análisis de la acción sísmica se basan en estimaciones a partir de eventos pasados. Las zonas geográficas donde se han realizado un mayor número de estudios de esta índole se caracterizan por ser lugares cuya peligrosidad sísmica es extrema. Ejemplos de estos trabajos en estas zonas son aquellos que utilizan programas open-source como el OpenQuake-engine para evaluar el daño estructural en Suramérica (Villar-Vega y Silva, V. 2017), los que analizan terremotos pasados para descubrir patrones precursores de grandes terremotos en Chile a través de nuevos métodos (Florido et al. 2015) o los que trabajan en la predicción de terremotos de moderada magnitud a través de redes neurales artificiales en Tokyo (Asencio-Cortés et al. 2015).

A nivel europeo, existen numerosos proyectos de investigación, entre los que destaca por su ambición y extensa área de trabajo, el proyecto europeo "Risk-UE" (2003), en el que se genera una metodología general y modular para la creación de escenarios de riesgo sísmico para diferentes ciudades europeas. Se obtuvo el índice de vulnerabilidad de la ciudad de Barcelona, España (Roca et al. 2006) y se obtuvo que gran parte de los edificios de la misma no estaban preparados para resistir un sismo de magnitud considerable.

En cuanto a bases de datos, a nivel europeo destaca el portal AHEAD que recoge el historial de la sismicidad de Europa (Locati et al. 2014) o las publicaciones y catálogos elaborados por el Instituto Geográfico Nacional de España (ING) y el Instituto Geográfico y Minero de España (IGME).

Trabajos más actuales son los derivados del terremoto de Lorca (Murcia, España) de 2011, en los que se analizan las consecuencias que tendría un terremoto de las mismas características en la localidad (Rivas-Medina et al. 2014) o la valoración de la vulnerabilidad de los inmuebles del patrimonio histórico de la ciudad (García Erviti 2014). Tras numerosos análisis del fenómeno y las consecuencias que derivó (Institut Geològic de Catalunya 2011), se obtiene que los factores fundamentales que agravaron sus efectos fueron: la mala adecuación de los edificios a los criterios de diseño sismorresistente (existencia de plantas bajas vacías y pilares enanos), la falta de mantenimiento de las construcciones y la falta de preparación de los cuerpos de emergencia para actuar tras el fenómeno.

Al sur de la Península, destacan los proyectos subvencionados a través de convocatorias públicas lanzadas por las administraciones locales y nacionales, cuyos resultados se recogen en diversas publicaciones de interés para este estudio. Entre ellos, destaca el proyecto "Riesgo Sísmico de la

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 ANTEDEGENDES 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

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 ⁽¹⁾, Fazendeiro-Sá, Luis ⁽²⁾, Morales-Esteban, Antonio ⁽¹⁾, Estêvão, João M.C. ⁽³⁾, Ferreira, Mónica A. ⁽⁴⁾, Durand-Neyra, Percy ⁽¹⁾ and Oliveira, Carlos Soussa ⁽⁴⁾

(1) Department of Building Structures and Geotechnical Engineering, University of Seville, Av. Reina Mercedes 2, 41012, Sevilla, Spain (marreggar@gmail.com / ame@us.es / percy@us.es)

(2) Emergency Planning National Department, Portuguese National Authority for Civil Protection, Avenida do Forte, 2794-112 Carnaxide, Portugal. (luis.sa@prociv.pt)

(3) University of Algarve, Portugal. (jestevas@ualg.pt)

(4) Instituto Superior Técnico, Portugal. (csoliv@civil.ist.utl.pt)

Resumen: El objetivo principal de este trabajo de investigación es el estudio y valoración del riesgo sísmico de edificios de educación primaria en el territorio de El Algarve (Portugal) y Huelva (España) de forma cooperativa, de acuerdo con los objetivos establecidos por las Plataformas Nacionales para la Reducción del Riesgo de Catástrofes (PNRRC) de las Comisiones Nacionales de Protección Civil de Portugal y España. Cerca de esta zona geográfica, convergen las placas tectónicas euroasiática y africana, constituyendo por ello, una de las áreas con mayor peligrosidad sísmica de la Península Ibérica. La tipología de edificios de educación primaria es una de las más vulnerables, haciendo imprescindible comprobar y garantizar su estabilidad estructural frente a un terremoto.

El presente artículo realiza una revisión de la peligrosidad sísmica en la zona objeto de estudio, las principales iniciativas relativas al estudio del riesgo sísmico de edificios, centrandó este análisis en la tipología objeto de estudio y en la normativa de aplicación en ambos países. Además, presenta la metodología que se desarrollará para alcanzar este objetivo que consiste en el desarrollo de herramientas de diagnóstico y evaluación de las tipologías para la obtención de una clasificación de la vulnerabilidad de los edificios ante el sismo. Según esta clasificación, se propondrán medidas de tratamiento y rehabilitación de los edificios que será aplicada al caso con un comportamiento más desfavorable para optimizar las soluciones proyectadas.

Palabras Clave: Vulnerabilidad sísmica, Puntuación-escuela, Resiliencia, Cooperación.

1. Introducción

La Península Ibérica se caracteriza por una sismicidad moderada, concentrándose en el sur la mayor actividad sísmica (Carre y Zornoza 2011). Recientemente, se han llevado a cabo numerosos estudios sobre la peligrosidad sísmica en la zona, motivados en mayor medida por los terremotos sucedidos en las últimas décadas en el área, cuyas magnitudes han superado los valores medios, causando efectos considerables.

Los terremotos se encuentran entre los desastres naturales que causan un mayor número de víctimas y pérdidas económicas (Perepérez 2014). En este contexto, diversos autores establecen la importancia del estudio del riesgo sísmico de los edificios: permite estimar y valorar los posibles daños que puede provocar una acción sísmica, para minimizar las pérdidas humanas y bienes materiales y económicos.

El estudio del riesgo sísmico depende de dos factores fundamentales: de la peligrosidad sísmica, establecida según la sismicidad de la zona donde se localice la edificación, y de la vulnerabilidad, según las características constructivas y estructurales de la edificación (Arroyo y Berenguer 1999).

1.1. La sismicidad en el sur de la Península Ibérica

El sur de la Península Ibérica se caracteriza por ser la zona de mayor actividad sísmica. Está asociada a la convergencia entre las placas africana y euroasiática, que se extiende configurando una amplia zona de sismos importantes con largos periodos de retorno (Martínez-Álvarez et al. 2013).

La zona Algarve-Huelva se ve afectada por una serie de grandes fallas consecuencia de esta convergencia de placas y que estudios recientes han identificado al suroeste de El Algarve, como la

falla de la Herradura, la falla del Marqués de Pombal, o la falla de San Vicente (Figura 1) (Gràcia et al. 2010). Esta zona se caracteriza por la ocurrencia de grandes terremotos muy espaciados en el tiempo como el terremoto de 1969 del Cabo de San Vicente o el conocido terremoto y posterior maremoto de Lisboa de 1755, cuyas magnitudes fueron muy elevadas ($M_w > 7.0$). Este causó la destrucción de gran parte de El Algarve y de Andalucía (Instituto Español para la Reducción de los Desastres 2016).



Fig. 1 Mapa de fallas activas cuaternarias en la Península Ibérica (Instituto Geográfico Nacional 2017)

De los terremotos sentidos en la Península destacan los siguientes por su magnitud elevada y los graves efectos causados:

Tabla 1. Terremotos históricos sentidos en la Península Ibérica (Silva, P.G. y Rodriguez Pascua 2014)

| AÑO | LUGAR | MAGNITUD | CONSECUENCIAS |
|------|------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1522 | Mar de Alborán | 6,5 | Destrucción total de la ciudad de Almería y de localidades de Granada. |
| 1531 | Lisboa | 7,0 | Alrededor de 30.000 fallecidos en la ciudad de Lisboa. |
| 1680 | Alahaurín el Grande (Málaga) | 6,8 | Varias localidades afectadas produciéndose leves daños. |
| 1755 | SW del Cabo de San Vicente | 8,5 | Destrucción de la mayor parte de Lisboa y produjo un tsunami de casi 15m de altura. Se produjeron entre 10.000 y 90.000 fallecidos por ambos desastres. |
| 1804 | Mar de Alborán | 6,7 | Graves daños en Motril (España). |
| 1829 | Torrevieja (Alicante) | 6,6 | Destrucción de más de 2.000 viviendas en diversas poblaciones de la comarca. Cerca de 400 fallecidos. |
| 1884 | Arenas del Rey, Granada | 6,7 | Casi un millar de fallecidos. |
| 1969 | Cabo de San Vicente | 8,0 | Varias muertes y daños leves. |

Según la Tabla 1, los terremotos de mayor magnitud y que además tuvieron unos efectos más devastadores fueron los producidos por fallas de la zona del cabo de San Vicente, como son el de 1531, el de Lisboa de 1755 y el de 1969, siendo el de Lisboa, el sismo de mayores consecuencias sentido en la Península.

Durante los años transcurridos en el siglo XXI, también se han sucedido diversos terremotos de magnitud moderada (Tabla 2), manifestando la importante actividad sísmica existente actualmente en la zona de estudio:

Tabla 2. Terremotos sentidos en la Península en la última década

| AÑO | LUGAR | MAGNITUD | CONSECUENCIAS |
|------|------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2007 | SW de Cabo San Vicente | 6,1 | Daños leves. |
| 2009 | Isla Cristina (Huelva) | 6,3 | Daños leves. Grietas en edificaciones. Muros antiguos desplomados. |
| 2011 | Lorca (Murcia) | 5,1 | Daños considerables y víctimas. Derrumbes de edificaciones de gran importancia. |
| 2016 | Mar de Alborán | 6,3 | Desprendimientos de fachadas, grietas y heridos leves. Pequeño maremoto en las Islas Baleares (España). |

Destacan el de 2007 del Cabo de San Vicente y el sismo de Lorca (Murcia), teniendo este último consecuencias devastadoras: más de 300 heridos y víctimas mortales, y alrededor de 10.000 personas fueron desalojadas de sus viviendas (Salgado-Gálvez et al. 2016).

Según el mapa de peligrosidad sísmica actualizado (Martínez Solares 2013) (Figura 2), la región de mayor peligrosidad sísmica es el sureste de la Península. En este área se produce un mayor número de sismos y por ello, los estudios sobre el riesgo y peligrosidad sísmica se concentran en esta zona. El suroeste peninsular, al estar considerada un área de menor peligrosidad, no existen tantos estudios de este tipo. Sin embargo, al analizar el historial de terremotos sentidos en la Península, los tres de mayor magnitud y más destructivos han sido producidos por las fallas que afectan a la zona objeto estudio por lo que de producirse uno, es el área geográfica que peores consecuencias sufriría, afectando a ambos países por igual.



Fig. 2 Mapa de peligrosidad sísmica actualizado de España, en valores de aceleración para un periodo de retorno de 475 años (Instituto Geográfico Nacional 2015)

1.2. La tectónica en la zona de El Algarve-Huelva

El territorio de El Algarve y Huelva se caracteriza por tener un perfil geológico similar con ciertos matices. En el caso de Huelva, se encuentra sobre materiales Terciarios y Cuaternarios de la Cuenca del Guadalquivir, con claras influencias marinas y extensas zonas de marisma (Meijninger 2006). Los principales materiales geológicos de menor a mayor profundidad son: depósitos fluviales, terrazas fluviales, arenas basales y margas arenosas. La Bahía de El Algarve, está esencialmente constituida también por materiales Terciarios, sobre todo materiales calcáreos, arcillas y arenas con algunas inclusiones magmáticas (Terrinha et al. 2013).

Según la normativa sísmica de España, la aceleración sísmica de cálculo depende entre otros valores, del coeficiente de amplificación del terreno y este varía según el tipo de terreno donde se encuentre la edificación. Para terrenos de consistencia blanda, el valor es mayor que para suelos rocosos. Al producirse un terremoto en un terreno blando, el área de amplificación es mayor puesto que el terreno físicamente es capaz de propagar el efecto, mientras que las rocas tienen inercia, pudiendo absorber parte de la energía liberada por el sismo (Udías y Mézcua 1986).

Ante esto, la peligrosidad sísmica de la zona Algarve-Huelva es mayor al ser comparada con otras zonas de actividad sísmica importante, como es el sureste de Andalucía, cuyo perfil geológico se caracteriza por suelos rocosos.

1.3. Evolución del estudio del riesgo sísmico

El estudio del riesgo sísmico ha ido evolucionando con el paso del tiempo y su valoración es un factor importante para el diseño de construcciones sismorresistentes y la mejora de la vulnerabilidad de los edificios. Desde las administraciones de España y Portugal y organizaciones internacionales, se han establecido acuerdos y normativas, tanto para regular el diseño de edificios como para el establecimiento de planes de actuación en caso de emergencia.

Comunidad Autónoma de Murcia (RISMUR, 2006)", que estudia el riesgo sísmico en tres localidades de la región de Murcia (Gaspar-Escribano, J.M., Benito y García-Mayordomo 2008); el proyecto de "Evaluación la Peligrosidad y el Riesgo Sísmico en Andalucía (SISMOSAN, 2007)" (Gaspar-Escribano, J.M. et al. 2010), o el proyecto "Metodología para la Evaluación Efectiva del Riesgo Sísmico Urbano (MERISUR)" (Benito et al. 2010).

Más centrados en el área objeto de estudio, se encuentran los estudios que analizan la peligrosidad sísmica de la zona a través de nuevos métodos como como la metodología ERSTA (Study of Seismic Risk and Tsunami in Algarve), que identifica y caracteriza el riesgo sísmico en el territorio de El Algarve (Costa, Pires y Vicêncio 2012), el método SIRCO (Simulador de Risco sísmiCO) cuyos resultados se comparan con los obtenidos por el método ERSTA (Fazendeiro Sá, Morales-Esteban y Durand 2016) o los que para ello, se centran en el análisis computacional (Morales-Esteban, Martínez-Álvarez y Reyes 2013).

Los estudios centrados en la valoración de la vulnerabilidad sísmica de edificios se caracterizan por tener una metodología de trabajo similar centrada en un primer análisis de las características constructivas y estructurales a través de visitas de campo, un posterior análisis general de su respuesta ante el sismo y para optimizar los resultados, se realiza un análisis exhaustivo de los casos más desfavorables (Valente y Milani 2016) (Barbieri et al. 2013) (Simões et al. 2014) (Candia et al. 2016). Otros trabajos son más singulares y obtienen como resultados curvas de capacidad y fragilidad estructural para obtener la vulnerabilidad sísmica de los edificios, concluyendo que la mayoría de los edificios de una ciudad son sísmicamente vulnerables (Lamego et al. 2017).

1.4. Vulnerabilidad sísmica. Selección de la tipología objeto de estudio

En general, los terremotos han dañado la infraestructura escolar de manera sistemática: no solo han afectado a las construcciones, por su inadecuado diseño y mantenimiento sino que además, afectan notablemente a los niños. En este sentido, diversos estudios han demostrado el efecto psicológico grave en los niños que han sufrido los efectos de los terremotos, y las ventajas de una preparación previa al fenómeno (UNICEF 2011).

La capacidad de resistencia sísmica de las escuelas es doble: la capacidad estructural del edificio y la preparación de los profesores y personal no docente en la atención del fenómeno antes, durante y después del mismo. Las escuelas, por su alta concentración de personas en un espacio confinado y su proporción relativamente pequeña de adultos por niño, son muy vulnerables frente a los terremotos.

En este sentido, diversos estudios a nivel internacional se centran en el estudio del riesgo sísmico de este tipo de edificios por su uso y usuarios en países como Estambul, India o Venezuela destacando la importancia de su estudio y valoración (Hancilar et al. 2014) (Dhungel et al. 2012) (López et al. 2010). A nivel nacional, también se han realizado estudios para estimar un índice que permita conocer las condiciones que presenta la estructura ante la eventualidad de un sismo en la región de Mérida (Suárez et al. 2009).

Las tipologías de edificios de educación primaria son muy repetidas, de escala sencilla y es la más asequible. Las escuelas tienen un papel vital en la sociedad, pues son responsables de la formación de los jóvenes de un país (de los más jóvenes) y desempeña un papel clave en la promoción del conocimiento social y cultural (Panahi, Rezaie y Meshkani 2014). Además, su carácter público hace que sea una tipología fácilmente adaptable y que puede servir de refugio tras la catástrofe.

1.5. La cooperación internacional para la reducción de desastres

Con el fin de promover la cooperación entre las comunidades frente a desastres, las Naciones Unidas aprobaron en el año 2000, la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD). En este contexto, Portugal y España, formaron las Plataformas Nacionales para la Reducción del Riesgo de Catástrofes (PNRRC) para cumplir con las directrices emitidas por la EIRD, dentro de las respectivas Comisiones Nacionales de Protección Civil y firmaron los acuerdos de Hyogo 2005-2015 (United Nations 2007) y Sendai 2015-2030 (United Nations 2015) en los que se promueve la reducción del riesgo de desastres de forma cooperativa entre países.

El compromiso entre España y Portugal tiene como objetivo principal la cooperación entre ambos países ante el acontecimiento de un desastre. El trabajo en conjunto permite compartir información y crear cooperación institucional para la toma de decisiones políticas y acciones, así como la mejora de la eficiencia en la investigación (Weichselgartner y Pigeon 2015). La importancia del estudio del riesgo sísmico de los edificios en el territorio trasfronterizo de El Algarve-Huelva cooperativamente entre España y Portugal, radica en la peligrosidad sísmica existente en la zona, y la equivalencia de la amplificación a ambas regiones en caso de producirse un sismo de grandes proporciones.

Por todo ello, el presente estudio de investigación se propone, para asegurar la capacidad de respuesta ante desastres de manera simultánea y cooperativa entre Portugal y España, el estudio y valoración del riesgo sísmico de edificios de uso docente en el territorio de El Algarve-Huelva de acuerdo a los objetivos establecidos por las PNRRC de ambos países. Para ello, se estudiará el desarrollo de herramientas de diagnóstico, evaluación, tratamiento y la rehabilitación de las tipologías edificatorias docentes, tanto antes como después de la catástrofe, así como el fomento de la concienciación del riesgo sísmico en comunidades y escuelas. Este trabajo concluirá en la elaboración de una guía práctica para la difusión y concienciación del riesgo sísmico en la población del ámbito docente de ambas regiones y la aplicación de la metodología elaborada para rehabilitar este tipo de edificios.

2. Metodología

Para alcanzar el objetivo propuesto por el proyecto, se establece y describe el siguiente plan de trabajo:

1. **Analizar la peligrosidad sísmica de la zona geográfica objeto de estudio mediante la actualización de un nuevo modelo de estimación del sismo** ya desarrollado por el grupo de investigación.
 - **Acción 1:** análisis de mapas sísmicos y bases de datos de la actividad sísmica de la zona objeto de estudio para la actualización del modelo ya desarrollado.
 - **Acción 2:** análisis de la normativa de obligado cumplimiento relativa a la seguridad estructural frente al sismo de los edificios docentes establecida tanto en España y Portugal como a nivel europeo.
 - **Acción 3:** revisión bibliográfica (publicaciones y proyectos de investigación) sobre metodologías y resultados de trabajos de investigación similares para obtener una visión general sobre cómo abordar esta problemática.
 - **Acción 4:** revisión de la aplicación de estudios de riesgo sísmico en los nuevos planes de emergencia o mitigación de desastres naturales.
2. **Analizar las características constructivas y estructurales de las distintas tipologías de escuelas de educación primaria del ámbito geográfico de estudio.**
 - **Acción 1:** revisión bibliográfica sobre las características constructivas y estructurales de las escuelas de educación primaria del territorio.
 - **Acción 2:** creación de una base de datos georreferenciada donde incluir de manera sistemática y ordenada la información sobre las características constructivas y estructurales de los centros de ambos países. En primer lugar, se llevarán a cabo encuestas online sobre las escuelas para obtener una visión general de las características. Esto permite obtener de forma rápida y sencilla información sobre un gran número de edificios en un breve periodo de tiempo.
 - **Acción 3:** creación y cumplimentación de fichas de caracterización de las escuelas con la información recogida durante el trabajo de campo. Este trabajo consistirá en la inspección de los edificios y su entorno para una posterior evaluación y diagnóstico de los mismos. Las fichas recogerán los aspectos relativos al entorno y las características constructivas, estructurales y patológicas (si las hubiera) de las escuelas. Deberán incluir los siguientes apartados:
 - Información general del edificio. En esta, se identificará la escuela, su localización y edad de la construcción; nivel de enseñanza, servicios ofertados y ratios.
 - Cuestiones urbanísticas. Se incluirá la topografía; condiciones de contorno de la edificación; relación de superficie libre y ocupada del centro; número de edificios autónomos (pabellones deportivos, talleres, etc.); condiciones generales de accesibilidad en caso de emergencia...
 - Caracterización técnica. Se indicará el tipo de estructura (elementos verticales y horizontales), destacando si hubiera, aquellos elementos de especial importancia en el estudio de la vulnerabilidad frente al sismo como pilares cortos (enanos), pilotis (plantas bajas vacías), pilares apeados, ménsulas cortas, etc.; las características constructivas relativas a los cerramientos, acabados y formación de cubiertas; la regularidad estructural (tipo de planta y volumetría); la caracterización de los edificios exentos en caso de que existieran...
 - Caracterización patológica. Relación de lesiones en caso de que existieran.
3. **Obtener un sistema de clasificación de la vulnerabilidad de las escuelas frente al sismo (Puntuación de cada escuela), mediante la creación de una aplicación informática.**
 - **Acción 1:** creación de algoritmos y rutinas de software para determinar la puntuación de cada escuela analizada de acuerdo a sus características constructivas y estructurales y la peligrosidad sísmica según el modelo de estimación. El modelo designado ya ha sido desarrollado por el

grupo de investigación (Fazendeiro Sá, Morales-Esteban y Durand 2016) y se basa en métodos empíricos desarrollados por Giovinazzi y Lagomarsino (Lagomarsino y Giovinazzi 2006)(Giovinazzi y Lagomarsino 2004)(Bernardini et al. 2007) a partir de los conceptos de la Escala Macrosísmica UE-98 (Grünthal 1998).

- **Acción 2:** obtención del “School-Score” o puntuación de cada escuela, que será un indicador del nivel de necesidad de intervención, de acuerdo con la vulnerabilidad frente al sismo del edificio. Este “School-Score” se traduce en la relación de actuaciones constructivas y estructurales necesarias para que, manteniendo la capacidad y uso de los espacios, se corrijan las deficiencias del edificio y se comporte de acuerdo con las normativas vigentes. Este indicador también servirá para determinar el alcance de actuación necesaria, que podrá ser parcial, integral o total (reconversión de las unidades) y las pautas relativas al mantenimiento del edificio.
 - **Acción 3:** evaluación de las posibles pérdidas de vidas y daños materiales que se darían para diferentes escenarios sísmicos.
4. **Elaborar una metodología de tratamiento y rehabilitación de los edificios en función de las características de las que deriva la clasificación obtenida de vulnerabilidad frente al sismo.**
- **Acción 1:** revisión bibliográfica sobre técnicas de rehabilitación estructural (estructura, cimentación y soluciones constructivas) para proponer nuevas soluciones o aplicar las ya existentes.
 - **Acción 2:** elaboración de un catálogo de soluciones de refuerzo para las deficiencias y lesiones de los edificios, así como la inclusión de recomendaciones. La metodología facilitará la labor del proyectista para la peritación y adecuación de los edificios y estará desarrollada y disponible en un portal online que se desarrollará a lo largo del proyecto.
5. **Aplicar la metodología de rehabilitación al caso con un comportamiento más desfavorable frente al sismo, para optimizar la relación de soluciones propuestas con el objeto de facilitar su reproducción tanto en España como en Portugal.**
- **Acción 1:** estudio y selección de las escuelas con un índice “School-score” más desfavorable frente al sismo en cooperación con las autoridades competentes tanto portuguesas como españolas. El análisis sísmico se realizará de una manera más exhaustiva, recurriendo a técnicas de análisis no lineal que servirá para la calibración del índice de vulnerabilidad propuesto a partir de datos precisos. Serán considerados los casos con elementos estructurales que agravan el comportamiento sísmico de los edificios: la existencia de plantas bajas vacías (pilotis) o de pilares cortos (enanos) dado que son factores que agravaron los efectos del sismo de Lorca de 2011 (Lloret y Regalado 2011).
 - **Acción 2:** aplicación de las técnicas de refuerzo para ser comprobadas y optimizadas y facilitar así su reproducción. Con esta acción se pretende incentivar la modernización de los edificios escolares para garantizar su adecuado comportamiento frente ante el sismo.
6. **Elaborar material educativo para ayudar a la difusión y concienciación del riesgo sísmico en la población del ámbito docente de ambas regiones y una guía práctica para la aplicación de la metodología de rehabilitación propuesta incluyendo recomendaciones para planes de actuación en caso de emergencia.**
- **Acción 1:** comunicación del riesgo sísmico mediante un documento que recoja la realización de actividades didácticas para la preparación de los alumnos y desarrollo y distribución de material educativo para la formación del personal docente. En este material, se incluirán actividades de planificación y simulación en caso de desastres para alertar a los alumnos del comportamiento correcto ante situaciones de emergencia.
 - **Acción 2:** elaboración de una guía práctica para la aplicación de la metodología de rehabilitación propuesta. Esta guía reúne información técnica sobre los edificios y facilitará la labor del proyectista para la peritación y adecuación de los edificios.
 - **Acción 3:** relación de recomendaciones para actualizar los planes de actuación en caso de emergencia de los cuerpos de seguridad competentes.
 - **Acción 4:** creación de un portal online de carácter informativo que podrá ser consultado libremente por los ciudadanos y organismos públicos que proporcionará la caracterización de los registros de las escuelas, así como la simulación del cálculo del riesgo sísmico para cada equipamiento. Este portal permitirá comprobar la información y los resultados obtenidos de la investigación desde cualquier localización y se irá actualizando a lo largo del proyecto.

3. Resultados esperados

El proyecto se divide en dos áreas temáticas. En primer lugar, el análisis del comportamiento estructural de los edificios frente al sismo de la zona objeto de estudio y, en segundo lugar, la comunicación y concienciación del riesgo sísmico a través de la educación de la población docente, en cooperación entre España y Portugal, bajo la premisa: la reducción del riesgo de desastres es una inversión rentable en la prevención de pérdidas futuras (UNISDR 2015).

El proyecto se llevará a cabo en todas las escuelas de primaria de la provincia de El Algarve y Huelva, cubriendo los 16 municipios portugueses y 79 españoles. La población estudiantil estimada se encuentra alrededor de 20.000 en Portugal y 35.000 en España para una población residente en ambas regiones de 1.000.000 personas.

Tras la finalización del proyecto, se pretende obtener los siguientes resultados:

- Cumplir con los acuerdos de Hyogo y Sendai para la reducción del riesgo de catástrofes en ambos países según las PNRRC DE España y Portugal.
- Obtener un sistema de clasificación de la vulnerabilidad de las escuelas frente al sismo (puntuación de cada escuela), mediante la creación de una aplicación informática.
- Elaborar una metodología de tratamiento y rehabilitación de los edificios en función de la clasificación de la vulnerabilidad frente al sismo obtenida, aplicándola a los casos con un comportamiento más desfavorable.
- Elaborar material educativo para ayudar a la difusión y concienciación del riesgo sísmico en la población del ámbito docente de las dos regiones, así como una guía práctica para la aplicación de la metodología elaborada para la rehabilitación o refuerzo de las tipologías.

4. Discusión

La presente propuesta de investigación y sus objetivos se adecúan al creciente interés y preocupación de la Unión Europea por contribuir en la reducción del riesgo sísmico a través de la generación de estudios sobre la amenaza sísmica y la vulnerabilidad física de los edificios tras los terremotos de gran magnitud sucedidos en estos últimos años como son el de Lorca, Murcia (España) en 2011, Amatrice (Italia) en 2016 y el más reciente de Lesbos (Grecia) en junio de 2017.

Según el análisis del estado de la investigación a día de hoy, todos los autores destacan la importancia del estudio y valoración del riesgo sísmico de edificios, ya sea a través de la mejora y precisión del análisis de la peligrosidad sísmica con nuevos modelos de estimación o el estudio de la vulnerabilidad sísmica de edificios mediante nuevas metodologías para su mejora.

En este sentido, numerosos autores inciden aún más en la importancia de este tipo de estudios debido a la obsolescencia de la normativa actual, proponiendo nuevas medidas para su actualización (Trifunac 2012), e incluso estableciendo la necesidad de realizar análisis más exhaustivos sobre la estructura geológica para la correcta estimación de la acción sísmica (Trifunac 2016).

Pese a ser una zona de aparente peligrosidad sísmica, en la zona de Algarve-Huelva no existe una gran cantidad de este tipo de estudios, a diferencia de otras zonas cercanas, remarcando, por tanto, la necesidad de realizar este trabajo de investigación en esta zona.

En cuanto a la selección de la tipología objeto de estudio, históricamente la consolidación de edificios para resistir terremotos se ha realizado en primer lugar en escuelas y hospitales, por ser las tipologías más vulnerables, como es el caso de la ciudad de California, Estados Unidos durante los años 70 (Green 1980). A nivel institucional, el proyecto se encuentra amparado por el interés de numerosos países en la reducción del riesgo sísmico de edificios de educación primaria y secundaria como Estados Unidos, Islandia, Italia y Portugal (Bernhardsdottir et al. 2016) a través de la financiación de proyectos de investigación y la mejora y actualización de normativas y planes de acción. Resultado de esta preocupación son las guías para el diseño y rehabilitación sismorresistente de edificios de uso docente en Estados Unidos (Federal Emergency Management Agency (FEMA) 2006) (Federal Emergency Management Agency (FEMA) 2002), similares a las planteadas por el proyecto y destinadas a la población del ámbito docente y no tanto para técnicos profesionales y sin rigor científico.

5. Conclusiones

Tras la elaboración de esta fase inicial del proyecto, se concluye lo siguiente:

- Según el historial sísmico, en la zona de Algarve-Huelva existe una importante peligrosidad sísmica dado que se ve afectada por fallas que han producido los sismos más importantes sufridos en la Península Ibérica.
- Los estudios sobre el riesgo sísmico se concentran en el sureste peninsular por ser el área de mayor peligrosidad sísmica de la Península. Pese a su potencial catastrófico, en El Algarve-Huelva no existe una cantidad considerable de estudios de este tipo.
- La presencia de suelos de tipo blando en la zona objeto de estudio implica que el coeficiente de amplificación del terreno en el cálculo de la acción sísmica sea mayor y, por tanto, sus efectos más graves.
- Tras el estudio de la gestión tras los terremotos sufridos en los últimos años en la Península, en especial, el de Lorca de 2011, se incide en la importancia de los protocolos de actuación en caso de catástrofe de los cuerpos de emergencia para actuar correctamente y minimizar las posibles pérdidas, así como la importancia del mantenimiento de los edificios.
- Tras este primer estudio, se concluye además que paralelamente a la evidente importancia de la estructura, la definición constructiva también es necesaria estudiarla dado que, en el caso del terremoto de Lorca, la mayor parte de los accidentes se debieron a problemas en las soluciones constructivas.

6. Referencias

- Arroyo, A.L. y Berenguer, J.V. (1999) Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico. *Física de la Tierra*, 11, pp. 269-284.
- Asencio-Cortés, G., Martínez-Álvarez, F., Troncoso, A. y Morales-Esteban, A. (2015) Medium-large earthquake magnitude prediction in Tokyo with artificial neural networks. *Neural Computing and Applications*, pp. 1-13.
- Barbieri, G., Biolzi, L., Bocciairelli, M., Fregonese, L. y Frigeri, A. (2013) Assessing the seismic vulnerability of a historical building. *Engineering Structures*, 57, pp. 523-535.
- Benito, B., Navarro, M., Vidal, F., Gaspar-Escribano, J., García-Rodríguez, M.J. y Martínez-Solares, J.M. (2010) A new seismic hazard assessment in the region of Andalusia (Southern Spain). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8 (4), pp. 739-766.
- Bernardini, A., Giovinazzi, S., Lagomarsino, S. y Parodi, S. (2007) The vulnerability assessment of current buildings by a macroseismic approach derived from the EMS-98 scale. En: *III Congreso Nacional de Ingeniería sísmica*. Girona, Spain, Asociación Española de Ingeniería Sísmica.
- Bernhardsdottir, A.E., Musacchio, G., Ferreira, M.A. y Falsaperla, S. (2016) Informal education for disaster risk reduction. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14 (7), pp. 2105-2116.
- Candia, G., Jaimes, M., Arredondo, C., De La Llera, J.C. y Favier, P. (2016) Seismic vulnerability of wine barrel stacks. *Earthquake Spectra*, 32 (4), pp. 2495-2511.
- Carre, E. y Zornoza, V. (2011) Terremotos en la Península Ibérica. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, 19.3, pp. 289-295.
- Comité Técnico AEN/CTN 140 Eurocódigos estructurales (2006) *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.
- Costa, E., Pires, P. y Vicêncio, H. (2012) Study of seismic risk and tsunamis in Algarve: estimative of debris and number of damage assessment inspectors. En: *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering - WCEE*. Lisboa, p. 5.
- Dhungel, R., Guragain, R., Joshi, N., Pradhan, D. y Acharya, S.P. (2012) Seismic Vulnerability Assessment of Public School Buildings in Nawalparasi and Lamjung District of Nepal. En: *15th World Conference on Earthquake Engineering*. Lisboa, Portugal, Sociedad Portuguesa de Engenharia Sismica.
- Fazendeiro Sá, L., Morales-Esteban, A. y Durand, P. (2016) A Seismic Risk Simulator for Iberia. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106 (3), pp. 1198-1209.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2002) *Incremental Seismic Rehabilitation of School Buildings (K-12)*. Estados Unidos.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2006) *Designing for Earthquakes: A manual for Architects*. Estados Unidos.
- Florido, E., Martínez-Álvarez, F., Morales-Esteban, A., Reyes, J. y Aznarte-Mellado, J.L. (2015) Detecting precursory patterns to enhance earthquake prediction in Chile. *Computers and Geosciences*, 76, pp. 112-120.
- García Erviti, F. (2014) *La valoración de los inmuebles del patrimonio histórico y los riesgos sísmicos en el contrato de seguro: el caso de Lorca*. Madrid, Fundación Mapfre.

- Gaspar-Escribano, J.M., Benito, B. y García-Mayordomo, J. (2008) Hazard-consistent response spectra in the Region of Murcia (Southeast Spain): Comparison to earthquake-resistant provisions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 6 (2), pp. 179-196.
- Gaspar-Escribano, J.M., Navarro, M., Benito, B., García-Jerez, A. y Vidal, F. (2010) From regional- to local-scale seismic hazard assessment: Examples from Southern Spain. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8 (6), pp. 1547-1567.
- Giovinazzi, S. y Lagomarsino, S. (2004) A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings. En: *13th World Conference on Earthquake Engineering*. Vancouver, B.C., Canada.
- Gràcia, E., Bartolomé, R., Lo Iacono, C., Moreno, X., Martínez-Loriente, S., Perea, H., Masana, E., Pallàs, R., Diez, S., Dañoibeitia, J.J., Terrinha, P. y Zitellini, N. (2010) Characterizing active faults and associated mass transport deposits in the South Iberian Margin (Alboran Sea and Gulf of Cadiz): on-fault and off-fault paleoseismic evidence. En: *Primera Reunión Ibérica sobre Fallas Activas y Paleosismología, Volumen de resúmenes*. Sigüenza, España, pp. 163-166.
- Green, N.B. (1980) *Edificación, diseño y construcción sismorresistente*. Barcelona, Gustavo Gili S.A.
- Grünthal, G. (1998) *European Macroseismic Scale 1998*.
- Hancilar, U., Çaktö, E., Erdik, M., Franco, G.E. y Deodatis, G. (2014) Earthquake vulnerability of school buildings: Probabilistic structural fragility analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 67, pp. 169-178.
- Institut Geològic de Catalunya (2011) *El terremoto de Lorca del 11 de mayo de 2011: informe de la inspección y de los trabajos de campo realizados*. Barcelona.
- Instituto Español para la Reducción de los Desastres (2016) *El riesgo de maremotos en la Península Ibérica a la luz de la catástrofe del 1 de noviembre de 1755*. Cádiz.
- Instituto Geográfico Nacional (2015) *Mapa de peligrosidad sísmica actualizado de la Península*. [Internet] Available from http://www.ign.es/web/resources/sismologia/PGA_475_DINA1_Web_Espanol.pdf.
- Instituto Geográfico Nacional (2017) *Mapa de fallas activas cuaternarias*. [Internet] Available from <http://info.igme.es/qafil/>.
- Jefatura del Estado de España (1985) *Ley 2/1985 sobre Protección Civil*.
- Lagomarsino, S. y Giovinazzi, S. (2006) Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4 (4), pp. 415-443.
- Lamego, P., Lourenço, P.B., Sousa, M.L. y Marques, R. (2017) Seismic vulnerability and risk analysis of the old building stock at urban scale: application to a neighbourhood in Lisbon. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 15, pp. 2901-2937.
- Lloret, V. y Regalado, F. (2011) *Análisis y reflexiones sobre los terremotos del 11 de Mayo del 2011 acontecidos en Lorca (sugerencias para el futuro)*.
- Locati, M., Rovida, A., Albini, P. y Stucchi, M. (2014) The AHEAD Portal: A Gateway to European Historical Earthquake Data. *Seismological Research Letters*, 85 (3), pp. 727-734.
- López, O., Marinilli, A., Bonilla, R., Fernández, N., Domínguez, J., Coronel, G., Baloa, T. y Vielma, R. (2010) Seismic Evaluation of School Buildings in Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 25 (4), pp. 81-94.
- Martínez-Álvarez, F., Reyes, J., Morales-Esteban, A. y Rubio-Escudero, C. (2013) Determining the best set of seismicity indicators to predict earthquakes. Two case studies: Chile and the Iberian Peninsula. *Knowledge-Based Systems*, 50, pp. 198-210.
- Martínez Solares, J.M. (2013) *Actualización de mapas de peligrosidad sísmica de España 2012*. Madrid, Centro Nacional de Información Geográfica.
- Meijninger, B.M.L. (2006) *Late-orogenic extension and strike-slip deformation in the Neogene of southeastern Spain*. Utrecht University.
- Ministerio de Fomento de España (2002) *Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02)*.
- Ministerio de Fomento de España (s. f.) *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. [Internet] Available from <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-documentoscte>.
- Ministerio de Justicia e Interior (1995) *Resolución de 5 de mayo de 1995, por la que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico*.
- Ministerio del Interior de España (1992) *Norma Básica de Protección Civil Real decreto 407/1992, de 24 de Abril*.
- Ministerio del Interior de España (2004) *Resolución del 17 de Septiembre de 2004 de la Secretaría, por la que se modifica la Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo sísmico*.
- Ministerio del Interior de España (2015) *Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil*.
- Ministerio del Interior de España (2015) *Real Decreto 1053/2015 por el que se aprueba la directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de maremotos*.
- Morales-Esteban, A., Martínez-Álvarez, F. y Reyes, J. (2013) Earthquake prediction in seismogenic areas of the Iberian Peninsula based on computational intelligence. *Tectonophysics*, 593, pp. 121-134.
- Panahi, M., Rezaie, F. y Meshkani, S.A. (2014) Seismic vulnerability assessment of school buildings in Tehran city based on

- AHP and GIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14 (4), pp. 969-979.
- Perepérez, B. (2014) La peligrosidad sísmica y el factor de riesgo. *Informes de la Construcción*, 66 (534), p. e018.
- Rivas-Medina, A., Martínez-Cuevas, S., Quirós, L.E., Gaspar-Escribano, J.M. y Staller, A. (2014) Models for reproducing the damage scenario of the Lorca earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12 (5), pp. 2075-2093.
- Roca, A., Irizarry, J., Lantada, N., Barbat, A.H., Goula, X., Pujades, L.I. y Susagna, T. (2006) Método Avanzado para la Evaluación de la Vulnerabilidad y el Riesgo Sísmico. Aplicación a la Ciudad de Barcelona. *Física de la Tierra*, 18, pp. 183-203.
- Salgado-Gálvez, M.A., Carreño, M.L., Barbat, A.H. y Cardona, O.D. (2016) Evaluación probabilista del riesgo sísmico en Lorca mediante simulaciones de escenarios. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32 (2), pp. 70-78.
- Silva, P.G. y Rodríguez Pascua, M.A. (2014) Catálogo de los efectos geológicos de los terremotos en España. En: Asociación Española para el Estudio del Cuaternario ed. *Riesgos Geológicos/Geotecnia nº 4*. Instituto Geológico y Minero de España.
- Simões, A., Bento, R., Cattari, S. y Lagomarsino, S. (2014) Seismic performance-based assessment of «Gaioleiro» buildings. *Engineering Structures*, 80, pp. 486-500.
- Suárez, L., Dávila, N., Inglessis, P. y Rivero, P. (2009) Evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares en la ciudad de Mérida. *Ciencia e Ingeniería*, 30 (3), pp. 269-278.
- Terrinha, P., Rocha, R., Rey, J., Cachao, M., Moura, D., Roque, C., Martins, L., Valadares, V., Cabral, J., Azevedo, M.R., Barbero, L., Clavijo, E., Dias, R.P., Gafeira, J., Matias, H., Matias, L., Madeira, J., Marques da Silva, C., Munha, J., Rebelo, L., Ribeiro, C., Vicente, J., Noiva, J., Youbi, N. y Bensalah, K. (2013) A Bacia Do Algarve: Estratigrafia, Paleogeografia E Tectonica. *Geologia de Portugal no contexto da Iberia*, (January), p. 71.
- Trifunac, M.D. (2012) Earthquake response spectra for performance based design-A critical review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 37, pp. 73-83.
- Trifunac, M.D. (2016) Site conditions and earthquake ground motion – A review. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 90, pp. 88-100.
- Udías, A. y Mézcua, J. (1986) *Fundamentos de geofísica*. Madrid, Alhambra S.L.
- UNICEF (2011) *Para Reconstruir la Vida de los Niños y Niñas: Guía para apoyar intervenciones psicosociales en emergencias y desastres*. Santiago de Chile, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, UNICEF.
- UNISDR (2015) *Informe de Evaluación Global sobre la Reducción del Riesgo de Desastres (GAR)*. Oficina de ed. Ginebra, Suiza.
- United Nations (2007) *International Strategy for Disaster Reduction Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations*. 1st ed. Geneva, Switzerland.
- United Nations (2015) Sendai framework for disaster risk reduction 2015-2030. En: *Third Un World Conference on Disaster Risk Reduction*, 1st ed. Geneva, Switzerland.
- Valente, M. y Milani, G. (2016) Seismic assessment of historical masonry towers by means of simplified approaches and standard FEM. *Construction and Building Materials*, 108, pp. 74-104.
- Villar-Vega, M. y Silva, V. (2017) Assessment of earthquake damage considering the characteristics of past events in South America. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 99, pp. 86-96.
- Weichselgartner, J. y Pigeon, P. (2015) The Role of Knowledge in Disaster Risk Reduction. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6, pp. 107-116.

7. Agradecimientos

Este trabajo de investigación se enmarca en el proyecto de investigación subvencionado por la convocatoria pública del Programa INTERREG V-A España-Portugal (POCTEP) de la Unión Europea bajo el título "Projetos de Escolas Resilientes aos Sismos no Território do Algarve e de Huelva (PERSISTAH)", referencia: 0313_PERSISTAH_5_P.