

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: 978-84-16784-99-8

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

# LT 3

PATRIMONIO Y  
REHABILITACIÓN



## HERITAGE AND REHABILITATION / PATRIMONIO Y REHABILITACIÓN

- p. 565-574: **NEW KNOWLEDGE ABOUT THE CHURCH OF SANTA MARÍA IN CARMONA** / p. 575-585: **NOVEDADES EN TORNO A LA IGLESIA DE SANTA MARÍA DE CARMONA**  
Ojeda Barrera, Alfonso
- p. 587-596: **GEOMETRY AND CONSTRUCTION THROUGH THE SACRED SPACE OF ANDRÉS DE VANDELVIRA** / p. 597-607: **GEOMETRÍA Y CONSTRUCCIÓN A TRAVÉS DEL ESPACIO SACRO DE ANDRÉS DE VANDELVIRA**  
Estepa Rubio, Antonio
- p. 609-619: **AN APPROACH TO THE IDEAL CONCEPT OF URBAN PLANNING IN THE 18TH CENTURY: COLONIAL SETTLEMENTS IN ANDALUSIA** / p. 620-630: **APROXIMACIÓN AL URBANISMO IDEAL EN EL S. XVIII: LAS NUEVAS POBLACIONES DE COLONIZACIÓN EN ANDALUCÍA**  
Quevedo Rojas, Carlos
- p. 631-642: **POWER PLANT REUTILIZATION STRATEGIES ENEL POWER PLANTS AND PORT OF GENOA CASE-STUDY** / p. 643-655: **ESTRATEGIAS DE REÚSO DE LAS CENTRALES ELÉCTRICAS. LAS CENTRALES ENEL Y EL CASO ESTUDIO DEL PUERTO DE GÉNOVA**  
Olivieri, Davide
- p. 657-664: **TECHNICAL-TECHNOLOGICAL AND MATERIALS COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN ITALIAN AND SPANISH MEDIEVAL SHIPYARD (THE CASE OF VENICE AND SEVILLE)** / p. 665-673: **ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO-TECNOLÓGICO Y DE MATERIALES ENTRE LOS ASTILLEROS MEDIEVALES ITALIANOS Y ESPAÑOLES (LOS CASOS DE VENECIA Y SEVILLA)**  
Debenedictis, Domenico; Robador González, María Dolores; Pagliuca, Antonello
- p. 675-684: **STRATEGIES FOR CONSERVATION OF RELIGIOUS HERITAGE IN THE METROPOLITAN AREA OF LYON/SAINT-ÉTIENNE (FRANCE). SHORT RESEARCH STAY AND METHODOLOGICAL TRANSFER** / p. 685-695: **ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL PATRIMONIO ECLESIAÍSTICO EN LA METRÓPOLIS LYON/SAINT-ÉTIENNE (FRANCIA). LA ESTANCIA BREVE INVESTIGADORA COMO VÍA DE TRANSFERENCIA METODOLÓGICA**  
Mascort-Albea, Emilio J.; Meynier-Philip, Mélanie
- p. 697-709: **HYDRAULIC HERITAGE AND THE CONSTRUCTION OF THE TERRITORY: THE IRRIGATION COMMUNITIES** / p. 710-722: **EL PATRIMONIO HIDRÁULICO EN LA CONSTRUCCIÓN DEL TERRITORIO: LAS HEREDADES**  
Delgado Quintana, Guacimara
- p. 723-731: **SUSTAINABILITY AND CONSERVATIVE REHABILITATION OF EXTREMADURAN PATRIMONIAL RURAL ARCHITECTURE AGAINST CLIMATE CHANGE. VEGAVIANA, CASE STUDY** / p. 732-741: **SOSTENIBILIDAD Y REHABILITACIÓN CONSERVADORA DE LA ARQUITECTURA RURAL PATRIMONIAL EXTREMEÑA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO. VEGAVIANA, CASO DE ESTUDIO**  
Bote Alonso, Inmaculada
- p. 743-754: **TOWARDS A METHODOLOGY FOR THE ASSESSMENT OF VISUAL IMPACT CAUSED BY RENEWABLE ENERGY FACILITIES ON THE LANDSCAPE IN CULTURAL HERITAGE SITES** / p. 755-766: **HACIA UNA METODOLOGÍA DE VALORACIÓN DEL IMPACTO VISUAL CAUSADO POR INSTALACIONES DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL PAISAJE EN EL ENTORNO DE LUGARES PATRIMONIO CULTURAL**  
Diego Rodríguez, Jesús Carlos; Chías Navarro, Pilar
- p. 767-772: **THE URBAN RENOVATION IN PUEBLA, MEXICO. THE HISTORICAL CENTER AS EXPERIMENTAL SPACE. THIRTY YEARS OF CITY TRANSFORMATION** / p. 773-779: **LA RENOVACIÓN URBANA EN PUEBLA, MÉXICO. EL CENTRO HISTÓRICO COMO ESPACIO EXPERIMENTAL. TREINTA AÑOS DE TRANSFORMACIÓN DE LA CIUDAD**  
Cortés Moreno, Jorge David
- p. 781-790: **THE ORNATE IN THE ARCHITECTURE OF TENERIFE AND GRAN CANARIA: 1865-1935** / p. 791-800: **EL ORNATO EN LA ARQUITECTURA DE TENERIFE Y GRAN CANARIA: 1865-1935**  
Sabina González, José Antonio
- p. 801-807: **THE CONSERVATION OF THE CONSTRUCTIONS LOCATED ON PROTECTED NATURAL AREAS: RESEARCH EXPERIENCE IN DOÑANA** / p. 808-815: **LA CONSERVACIÓN DE LO CONSTRUIDO EN LOS ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS: EXPERIENCIA DE INVESTIGACIÓN EN DOÑANA**  
Rincón Calderón, José María; Galán Marín, Carmen; Sanchez Fuentes, Domingo
- p. 817-827: **TRANSHUMANCE HERITAGE IN THE STRUCTURING OF THE LANDSCAPE, CITIES AND ARCHITECTURE** / p. 828-838: **EL PATRIMONIO DE LA TRASHUMANCIA EN LA VERTEBRACIÓN DEL TERRITORIO, LA CIUDAD Y LA ARQUITECTURA**  
Gutiérrez Pérez, Nicolás
- p. 839-848: **INTERVENTION IN THE HERITAGE OF RURAL COLONIZATION ARCHITECTURE. THE VILLAGES OF LOS MONEGROS** / p. 849-859: **INTERVENCIÓN EN EL PATRIMONIO DE LA ARQUITECTURA RURAL DE COLONIZACIÓN. LOS POBLADOS DE LA COMARCA DE LOS MONEGROS**  
Prieto Mochales, Luis
- p. 861-870: **MODERN ARCHITECTURE IN MANZANILLO, COLIMA, MEXICO 1930-1970 (TRANSFER AND ADAPTATION)** / p. 871-880: **ARQUITECTURA MODERNA EN MANZANILLO, COLIMA, MÉXICO 1930-1970 (TRANSFERENCIA Y ADAPTACIÓN)**  
Yáñez Ventura, Marco Antonio; López García, J. Jesús
- p. 881-893: **FIRST INTERNATIONAL ARCHITECTURAL JOURNEY OF JUAN MADRAZO** / p. 894-906: **PRIMER VIAJE INTERNACIONAL ARQUITECTÓNICO DE JUAN MADRAZO**  
Fernández Martínez, Margarita María
- p. 907-918: **HOUSES, COURTYARD TENEMENT HOUSING, INNS AND SHOPS IN 16TH SEVILLE. ARCHITECTURE, DRAWING AND GLOSSARY OF MASTER BUILDERS** / p. 919-930: **CASAS, CORRALES, MESONES Y TIENDAS EN LA SEVILLA DEL SIGLO XVI. ARQUITECTURA, DIBUJO Y LÉXICO DE ALARIFES**  
Núñez González, María
- p. 931-939: **TOWARDS THE CONSTRUCTION OF ATLAS OF SURVIVING ARCHITECTURES** / p. 940-949: **HACIA LA CONSTRUCCIÓN DEL ATLAS DE ARQUITECTURAS SUPERVIVIENTES**  
Tejera Mujica, Noemi
- p. 951-960: **TRANSFORMATIONS OF THE ALCÁZAR OF SEVILLE THROUGH ITS IMAGES (1902-1969)** / p. 961-971: **TRANSFORMACIONES DEL REAL ALCÁZAR DE SEVILLA A TRAVES DE SUS IMÁGENES (1902-1969)**  
Bañasco Sánchez, Pablo
- p. 973-980: **THE ARCHITECTURE OF POWER. THE ISLAND INSTITUTIONS AND AUTONOMOUS BODIES. ANALYSIS OF THE CASES: GRAN CAÑARIA, TENERIFE AND MADEIRA** / p. 981-987: **LA ARQUITECTURA DEL PODER. LAS INSTITUCIONES INSULARES Y ORGANISMOS AUTÓNOMOS. ANÁLISIS DE LOS CASOS: GRAN CANARIA, TENERIFE Y MADEIRA**  
Hernández Cruz, Ricardo Kevin
- p. 989-998: **PROPOSAL FOR AN INDICATORS SYSTEM OF URBAN INTEGRATION OF THE MARITIME PORTS HERITAGE** / p. 999-1009: **PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE INDICADORES DE INTEGRACIÓN URBANA DEL PATRIMONIO PORTUARIO MARÍTIMO**  
De las Peñas García, Jesús
- p. 1011-1020: **EMPIRICAL METHOD APPLIED IN RESEARCH ON RESIDENTIAL ENERGY RETROFITTING** / p. 1021-1031: **MÉTODO EXPERIMENTAL EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL**  
Escandón, Rocío; Blázquez, Teresa; Martínez-Hervás, Mónica; Suárez, Rafael; Sendra, Juan José
- p. 1033-1042: **AESTHETICS OF RUINS AND ETHICS OF ARCHITECTURAL DESIGN: NEW INTERVENTIONS ON ARCHAEOLOGICAL HERITAGE** / p. 1043-1053: **ESTÉTICA DE LAS RUINAS Y ÉTICA DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO: NUEVAS INTERVENCIONES EN EL PATRIMONIO ARQUEOLÓGICO**  
Bagnato, Vincenzo Paolo

# MÉTODO EXPERIMENTAL EN LA INVESTIGACIÓN SOBRE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA RESIDENCIAL

Escandón, Rocío <sup>(1)(\*)</sup>, Blázquez, Teresa <sup>(1)</sup>, Martínez-Hervás, Mónica <sup>(1)</sup>,  
Suárez, Rafael <sup>(1)</sup> and Sendra, Juan José <sup>(1)</sup>

(1)(\*) Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, Av. de Reina Mercedes 2, Seville (41012), Spain. rescandon@us.es

**Resumen:** La eficiencia energética es actualmente uno de los principales focos de interés de las políticas europeas, siendo la rehabilitación energética del parque residencial existente una de sus prioridades para reducir la demanda energética del sector de la edificación. En Europa existe un importante parque de viviendas construido en el periodo de postguerra, anterior a las primeras normativas energéticas, que presenta muy bajas prestaciones y un gran potencial de ahorro energético a través de la rehabilitación con sistemas pasivos.

Con el objeto de predecir las medidas más adecuadas para la rehabilitación de este parque de viviendas, surgen tesis doctorales encaminadas a evaluar su comportamiento ambiental y energético, siendo el uso de herramientas de simulación energética fundamental para predecir el comportamiento de los edificios rehabilitados. Sin embargo, el resultado obtenido en las simulaciones no es fiable sin la validación previa de los modelos energéticos que demuestren su ajuste con la realidad. Para ello, resulta imprescindible la monitorización de las condiciones ambientales y energéticas, así como la realización de pruebas experimentales en casos de estudio reales.

El objetivo de este trabajo es exponer la metodología experimental que comparten tres tesis doctorales en desarrollo, sobre evaluación ambiental y energética del parque residencial, particularizada para las condiciones climáticas del sur de España. Esta metodología se adapta a diferentes escalas de estudio: desde un nivel urbano, a conjuntos residenciales o vivienda.

**Palabras Clave:** Parque residencial, Evaluación energética, Rehabilitación energética, Monitorización, Simulación energética.

## 1. Introducción

Las actuales políticas energéticas europeas han establecido un marco común para el ahorro de energía y la certificación energética (European Parliament 2012), regulando unas condiciones básicas para fomentar y garantizar la rehabilitación sostenible y eficiente del parque edificado. Europa cuenta con un importante parque residencial construido entre 1950 y 1980, periodo previo a las primeras normativas que limitaban globalmente la demanda energética en los edificios, constituyendo hasta un 76% del total de viviendas existentes (Di Pilla et al. 2016).

Concretamente, en el sur de Europa, un importante porcentaje del stock de viviendas construidas en este periodo de estudio, principalmente viviendas sociales, presentan bajas prestaciones energéticas, ya que apenas incorporan medidas de aislamiento térmico en su envolvente. Por ello, son viviendas con un gran potencial de mejora de su comportamiento energético si se aplican las medidas de rehabilitación adecuadas. De forma previa a la toma de decisiones, debe llevarse a cabo una evaluación del comportamiento ambiental y energético del stock de viviendas objeto de estudio, así como una predicción del rendimiento energético de las medidas de rehabilitación.

Muchos estudios se basan en el uso de herramientas de simulación energética, pero sus resultados están muy alejados del comportamiento real de los edificios (Sunikka-Blank y Galvin 2012). Esta diferencia ha sido generalmente atribuida al comportamiento del usuario y, en menor medida, a una mala identificación de las características constructivas del edificio (Guerra-Santín et al. 2013). Por ello, no se puede considerar fiable el resultado obtenido en las simulaciones sin una validación previa de los modelos energéticos, tarea que requiere la información previa obtenida en el proceso de monitorización de las condiciones ambientales y energéticas, así como la realización de ensayos puntuales en las viviendas objeto de estudio (Cipriano et al. 2015).

El principal objetivo de este trabajo es describir la metodología experimental que comparten una serie de tesis doctorales centradas en la evaluación ambiental y energética del parque residencial existente

en el sur de España. Esta metodología permite desarrollar el análisis energético desde tres niveles de aproximación: escala urbana, de conjuntos residenciales o de vivienda. Además, en este trabajo se expondrán resultados parciales de la aplicación de esta metodología en estos niveles de aproximación, mostrando su potencial para el análisis energético.

## 2. Metodología

Para el desarrollo de tesis doctorales centradas en la evaluación ambiental y energética del parque residencial existente a diferentes escalas, se ha propuesto una metodología experimental que aborda las siguientes tareas:

- Identificación y caracterización tipológica del parque residencial construido (nivel urbano).
- Caracterización y análisis morfológico, constructivo y energético del parque residencial construido (nivel edificio).
- Análisis del comportamiento ambiental y energético, en condiciones reales de uso, de los casos de estudio mediante medidas experimentales (nivel vivienda).
- Evaluación de las condiciones de confort térmico en el interior de las viviendas, según los diferentes estándar definidos de confort adaptativo (nivel vivienda).
- Simulación energética de los casos de estudio (nivel vivienda).

### 2.1. Nivel urbano

Como primer acercamiento al caso de estudio, se realiza una identificación y caracterización tipológica del parque residencial construido a escala urbana (Martínez-Hervás et al. 2017). Para ello, en primer lugar, se define el marco histórico y urbanístico del núcleo urbano objeto de estudio y, posteriormente, se identifican las barriadas y promociones de viviendas construidas en el periodo de estudio, estableciendo en nuestro caso un límite inicial mínimo de 200 viviendas por promoción, ya que se pretende considerar únicamente promociones de vivienda con entidad relevante para el núcleo urbano objeto de estudio.

Una vez identificadas las promociones de viviendas, se genera una base de datos que recoge información general relativa a las promociones y de cada uno de los bloques de viviendas que conforman la promoción. Dicha información es obtenida de fuentes de información de fácil acceso: Sede General del Catastro y Google Maps.

Asimismo, a nivel urbano, se genera un Sistema de Información Geográfica (SIG) que incorpora toda la documentación recopilada de las promociones de vivienda, haciendo uso para ello de un software libre, aplicación QGIS 2.18.4, lo que permite una mayor facilidad de acceso a la información y a su lectura y análisis (

Fig. 1).

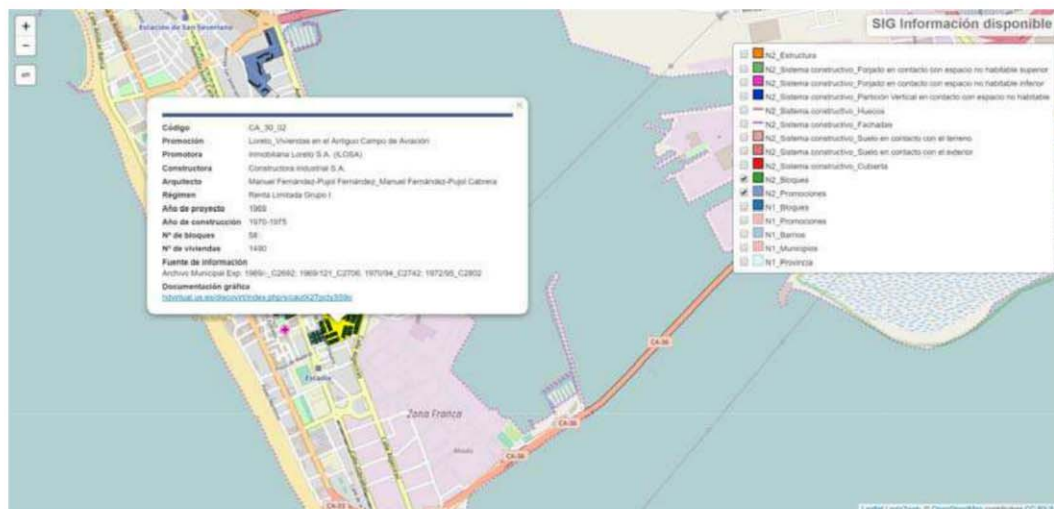


Fig. 1. Plataforma GIS.

## **2.2. Nivel edificio**

La identificación y caracterización tipológica del parque residencial, llevada a cabo a nivel urbano, permite seleccionar los casos más representativos de cada ciudad que van a constituir la muestra de estudio del análisis a nivel de edificio.

Para llevar a cabo la caracterización y análisis morfológico, constructivo y energético del parque residencial construido a nivel de edificio, se realiza en primer lugar una recopilación documental del proyecto original de cada promoción de viviendas elegidas como objeto de estudio, consultando para ello diferentes archivos históricos y fuentes bibliográficas.

A partir del análisis de los proyectos originales, se caracteriza y analiza morfológicamente la arquitectura de las viviendas seleccionadas, valorando los principales aspectos relacionados con las tipologías edificatorias: número de plantas de los bloques, compacidad, número de dormitorios, superficie útil de las viviendas, altura libre... Además, se lleva a cabo una identificación y caracterización de los sistemas constructivos empleados, analizando aspectos relacionados con las soluciones constructivas de envolvente térmica en las viviendas. Toda la información recopilada de los proyectos originales se incorpora al SIG desarrollado para el nivel urbano, ampliando con ello la capacidad de análisis estadístico de esta plataforma, abordando también los parámetros del nivel de edificio.

Por último, a partir de dicha información, se desarrolla una evaluación energética de los bloques de viviendas objeto de estudio mediante la construcción de modelos energéticos con la herramienta oficial CE<sup>3</sup>X. Este programa, reconocido por la comunidad científica, sigue un procedimiento simplificado de calificación energética para edificios existentes y permite obtener además, valores de demanda de calefacción, refrigeración y global. Asimismo, toda la información generada en la evaluación energética de los bloques de viviendas objeto de estudio se incorpora al SIG desarrollado. Ello nos permite obtener una imagen global del estado energético actual del núcleo urbano considerado como caso de estudio.

## **2.3. Nivel vivienda**

De nuevo, es la caracterización y análisis del parque residencial, llevada a cabo a nivel de edificio, la que nos dará los parámetros claves para seleccionar los casos de mayor interés para constituir la muestra de estudio del análisis a nivel de vivienda. Así, seleccionaremos como casos de estudio aquellas viviendas con las tipologías morfológicas y constructivas más representativas según el análisis previo realizado.

El primer paso para el análisis del comportamiento ambiental y energético, en condiciones reales de uso, de los casos de estudio es la monitorización de las variables ambientales (temperatura del aire, humedad relativa y nivel de CO<sub>2</sub> en el interior; temperatura del aire y humedad relativa en el exterior) y energéticas (consumo eléctrico pormenorizado). La comunidad científica ha establecido y validado diferentes metodologías de monitorización (Guerra-Santin y Tweed 2015), de entre las que destacan las medidas a largo plazo cuando el objetivo final es evaluar el confort térmico de acuerdo a un modelo adaptativo.

El protocolo diseñado plantea el uso de dos data loggers de interior (WOHLER CDL 210 o similar) (

Fig. 2), uno colocado en salón y otro en el dormitorio principal de la vivienda, midiendo las variables cada 30 minutos a lo largo de un año completo. Para el análisis de las variables ambientales exteriores, se hace uso de los datos cedidos por las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología de España (temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y dirección del viento y precipitaciones), una vez verificada su idoneidad tras mediciones puntuales de comprobación realizadas in situ.

Para la monitorización del consumo pormenorizado de energía, se dispone un medidor de consumo general, localizado en el cuadro eléctrico, y varios medidores individuales en las tomas de enchufe de los equipos domésticos (fundamentalmente equipos locales de calefacción y/o refrigeración) (

Fig. 2). La medida del consumo en kWh se registra cada 15 minutos, a lo largo de un año. Además, para poder completar y contrastar los consumos medidos, se propone la recopilación de datos históricos de consumo a través de facturas.



**Fig. 2** Equipos de monitorización de variables ambientales y energéticas

Estas medidas a largo plazo se complementan con ensayos puntuales de termografía infrarroja y de despresurización. El test de despresurización se lleva a cabo con un equipo Blower Door, de acuerdo con la normativa UNE EN 13829 (2013), para comprobar el grado de estanqueidad al aire de la envolvente exterior de las viviendas. Además, para la búsqueda de patrones de comportamiento térmico de las fachadas, se toman imágenes mediante una cámara termográfica, de acuerdo con la normativa UNE EN 13187 (2013).

Una vez recopilados los datos de la monitorización, se procede al análisis de su evolución horaria durante el periodo de invierno, verano y entretiempo. Este estudio se complementa con el análisis del nivel de confort de los usuarios en el interior de las viviendas, llevándose a cabo un primer acercamiento a los requisitos mínimos exigidos por la normativa vigente (Ministerio de la Vivienda 2013) y una segunda evaluación según el modelo adaptativo establecido por el Standard EN-15251 (CEN 2007).

Por último, la información recopilada y analizada durante la monitorización nos permitirá generar modelos energéticos cuya simulación nos permitirá obtener resultados cercanos al comportamiento real de las viviendas. El primer paso consiste en la construcción de esos modelos, para lo que se emplea el software DesignBuilder o similar. Mediante su uso se obtendrán valores de demanda, consumo y evolución de temperatura y humedad en el interior de un espacio. Se recrearán las viviendas completas y sus condiciones de contorno, incluyendo la definición de plantillas de las características constructivas de la envolvente y de las condiciones de uso y operacionales. Para el desarrollo de los patrones de usuario, se hará uso de los datos de monitorización (temperatura del aire interior, concentración de CO<sub>2</sub> y consumo eléctrico) y la información extraída mediante encuestas a los usuarios (hábitos de ocupación, ventilación, uso de equipos de climatización y persianas, etc).

Los modelos serán ajustados mediante el análisis del grado de error entre los datos simulados y los monitorizados. Generalmente se centra el ajuste de los modelos en los datos de consumos energéticos para climatización, a excepción de viviendas que habitualmente se encuentran en condiciones de libre evolución, en las que el ajuste se centrará en la temperatura del aire interior. Para la validación estadística de los modelos, se propone el uso de los indicadores establecidos por la ASHRAE Guideline 14-2002 (ASHRAE 2002).

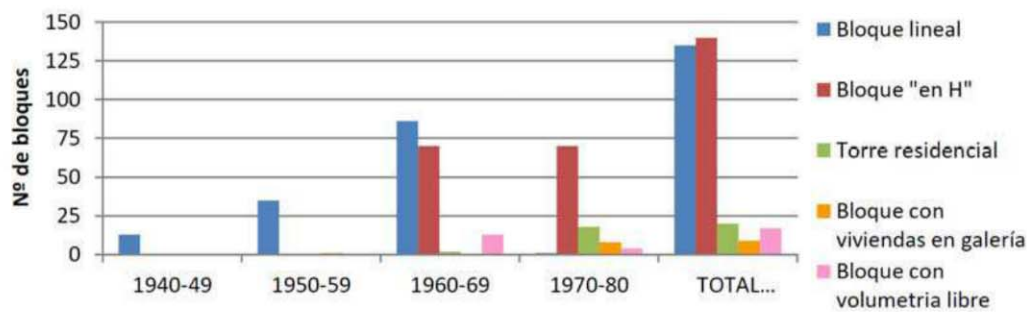
### **3. Definición del caso de estudio**

La metodología anteriormente descrita permite seleccionar los bloques o viviendas objeto de estudio en una fase posterior, que deberán analizarse desde las particulares condiciones del parque residencial del área de estudio en la que nos encontremos. En este trabajo, se va a concretar la aplicación de la metodología descrita al parque residencial existente en clima mediterráneo.

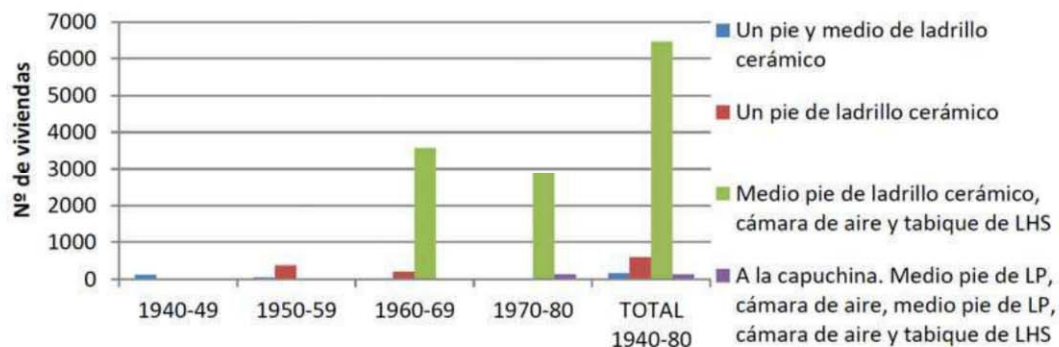
#### **3.1. Descripción tipológica y constructiva**

El análisis estadístico realizado en el nivel edificio permite identificar y caracterizar tipológicamente el parque residencial objeto de estudio, definiendo las características tipológicas (Fig. 3) y constructivas

(Fig. 4) más representativas del stock de viviendas existentes en la localidad, en cada década de estudio.



**Fig. 3** Evolución del número de bloques según tipología. Ejemplo aplicado a la ciudad de Cádiz (Martínez-Hervás et al. 2015)

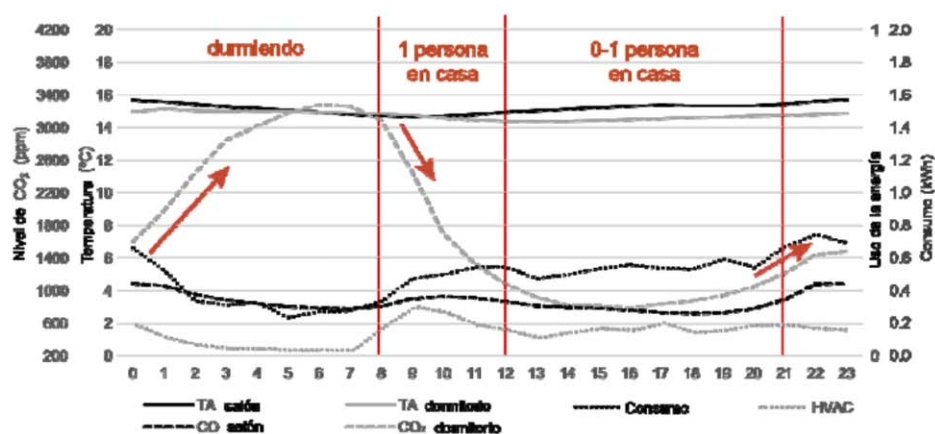


**Fig. 4** Evolución del número de viviendas según sistema constructivo de fachada. Ejemplo aplicado a la ciudad de Cádiz (Martínez-Hervás et al. 2015)

### 3.2. Patrón de usuario.

El análisis, a nivel de vivienda, de los datos de monitorización (temperatura del aire interior, concentración de CO<sub>2</sub> y consumo eléctrico), y la información extraída mediante encuestas, permite definir el patrón de usuario particular del caso de estudio analizado (

Fig. 5).



**Fig. 5** Patrón de usuario (día tipo de invierno). Ejemplo aplicado a un caso de estudio en Sevilla.

El caso concreto del parque residencial del clima mediterráneo, con un elevado porcentaje de viviendas sociales, presenta unas condiciones culturales y socioeconómicas particulares que dan lugar a un patrón de usuario diferente al patrón estándar establecido por el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Vivienda 2013).

El consumo energético en estas viviendas sociales es mucho menor de lo estimado (Santamouris et al. 2014, Sendra et al. 2013), pues los usuarios renuncian a las condiciones de confort térmico en el

interior de sus viviendas por cuestiones económicas, encontrándose en situación de “pobreza energética”. De forma generalizada, las viviendas sociales del sur de España no cuentan con instalaciones centralizadas de calefacción o refrigeración, sino equipos locales alimentados por energía eléctrica (brasero, split...).

Al tratarse de un patrón de usuario tan particular, resulta fundamental la monitorización y la realización de encuestas para definir previamente los hábitos de uso de los usuarios de los casos de estudio que se van a analizar. Sin esta información, se cae en el riesgo de importantes diferencias entre los consumos reales y los estimados a través de simulaciones energéticas (Sunikka-Blank y Galvin 2012).

### 3.3. *Clima mediterráneo*

En términos generales, el clima mediterráneo se define como un clima templado con veranos muy calurosos y secos e inviernos suaves y lluviosos. En España, se define el área de clima mediterráneo como el conjunto de provincias bañadas por el mar Mediterráneo y el resto de las provincias andaluzas. Sin embargo, no se deben generalizar las condiciones climáticas de todo este área, pues la diversidad existente es muy relevante, como lo demuestra la definición de zonas climáticas según el Código Técnico de la Edificación (

Fig. 6).

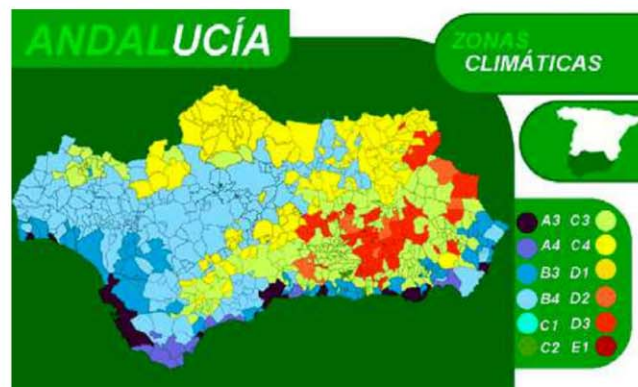


Fig. 6 Mapa Climático Andalucía (Sánchez de la Flor et al. 2008)

## 4. Resultados

Los resultados de monitorización, ensayos in situ, encuestas a los usuarios y posterior simulación de los modelos energéticos favorecerán el conocimiento del comportamiento ambiental y las condiciones de confort reales del parque residencial, tanto en condiciones climáticas de invierno como de verano. El análisis del comportamiento energético del parque residencial, junto con el conocimiento de las principales deficiencias energéticas, permitirá fundamentar la toma de decisiones del posterior proceso de rehabilitación y valorar la eficiencia energética de las estrategias de rehabilitación.

En este apartado se muestran algunos de los resultados obtenidos en el desarrollo de tres tesis doctorales centradas en la evaluación ambiental y energética del parque residencial andaluz a diferentes escalas. Esta muestra permite comprender el alcance de los resultados obtenidos al aplicar metodologías experimentales en la investigación sobre rehabilitación energética.

### 4.1. *Nivel urbano*

La metodología desarrollada en el apartado anterior se ha aplicado a la ciudad de Cádiz, permitiéndonos generar una base de datos incorporada a un SIG. La plataforma SIG desarrollada nos ofrece la potencialidad de adquirir un conocimiento generalizado a escala urbana del parque residencial existente en las ciudades mediterráneas, tanto desde el punto de vista tipológico y constructivo, como a nivel energético, articulando de manera conjunta y con carácter visual la

información espacial y alfanumérica disponible. Asimismo, dicha plataforma SIG puede ser de gran utilidad para los técnicos de las administraciones encargadas de la planificación de estrategias de rehabilitación sostenible a escala urbana, ya que ofrece una imagen global del estado energético actual de las ciudades objeto de estudio (

Fig. 7).



Fig. 7 Plataforma GIS. Evaluación energética a escala urbana.

#### 4.2. Nivel edificio

El análisis estadístico de las características morfológicas y constructivas de los casos de estudio muestra las tipologías más representativas del periodo de estudio. En el caso concreto del clima mediterráneo, los estudios realizados demuestran que las dos tipologías más representativas en el periodo de estudio son el bloque lineal y en H (Fig. 3). Y en cuanto a las características constructivas de la envolvente, predomina claramente la fachada de doble hoja (medio pie de ladrillo macizo o perforado, cámara de aire y tabique de ladrillo hueco) (Fig. 4) (Martínez-Hervás et al. 2015, Domínguez et al. 2016).

El análisis de la demanda y consumo energético estimado de los casos de estudio permite realizar una comparación de estos valores con las exigencias establecidas por la normativa vigente en España: el Código Técnico de la Edificación (Ministerio de la Vivienda 2013), entendidos como valores de referencia para evaluar el potencial de mejora del parque residencial. El comportamiento energético de las viviendas suele estar alejado de las exigencias normativas actuales, debido a la débil prestación térmica de su envolvente (Fig. 8). Sin embargo, pese a la imagen global que existe sobre una mayor severidad climática en verano en el sur de España, los valores de demanda de refrigeración están más próximos a los valores límites exigidos por el CTE, mientras que son los de calefacción los que llegan hasta quintuplicar los valores límites establecidos por el CTE (caso 5).

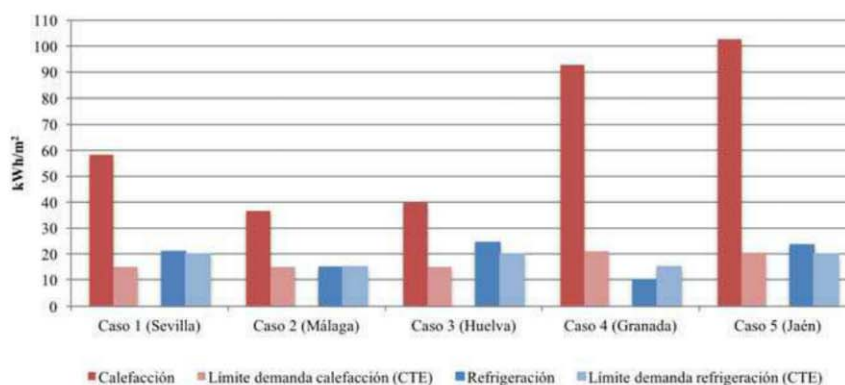
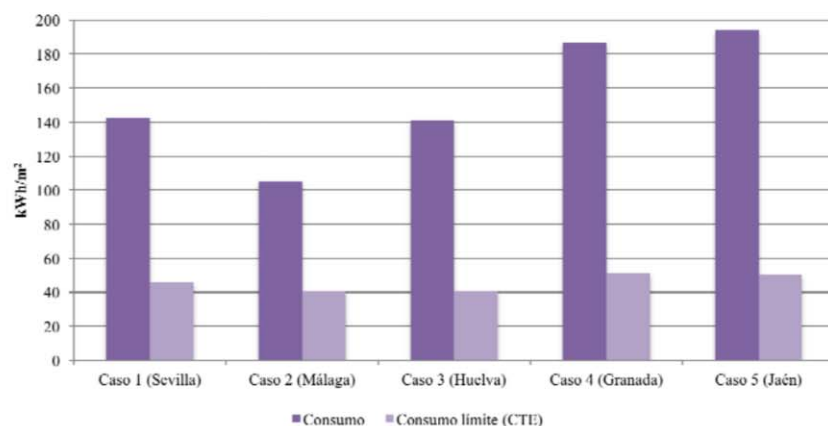


Fig. 8 Ejemplo demandas de calefacción y refrigeración (Escandón et al. 2016)





**Fig. 9** Consumos estimados (Escandón et al. 2016)

**Tabla 1** Calificación energética y consumo de CO<sub>2</sub> (Escandón et al. 2016)

	Caso 1 (Sevilla)	Caso 2 (Málaga)	Caso 3 (Huelva)	Caso 4 (Granada)	Caso 5 (Jaén)
Zona climática	B4	A3	A4	C3	C4
Calificación energética	E	E	E	E	E
Emissiones de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> )	29.4	21.7	28.9	39.1	40.1

Las elevadas demandas, sumadas a la ausencia de sistemas térmicos eficientes, se traducen en una estimación de consumo que supera notablemente los valores límites exigidos por el CTE (Fig. 9). Pero estos valores se alejan de la realidad de la vivienda social en el sur de España, debido a que las herramientas de simulación oficialmente reconocidas en España hacen uso de unos perfiles de usuario estándar fijados por el CTE. Por ello, para un análisis más certero del comportamiento energético del edificio, se requiere el uso de otros softwares de simulación que nos permitan modificar el patrón de usuario. En concordancia con los valores de demandas, la calificación energética se sitúa en las bandas inferiores de la escala establecida por el CTE (Ministerio de la Vivienda 2013) (

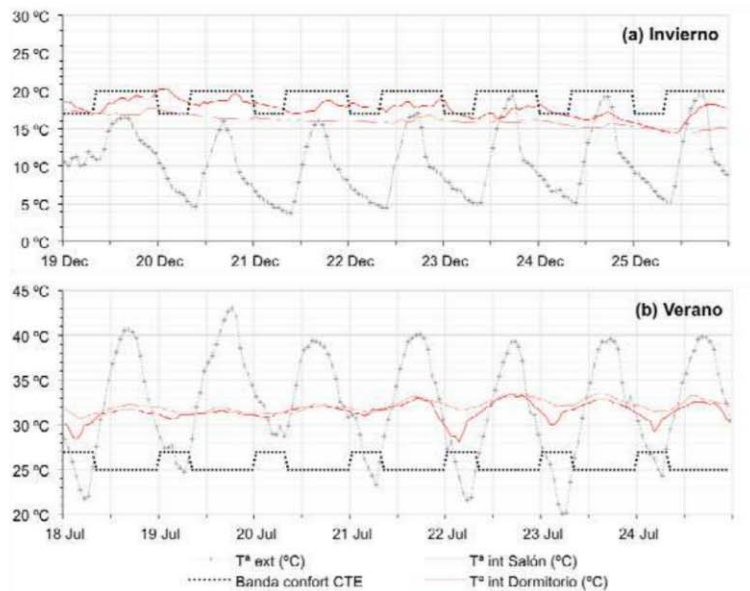
Tabla 1).

### 4.3. Nivel vivienda

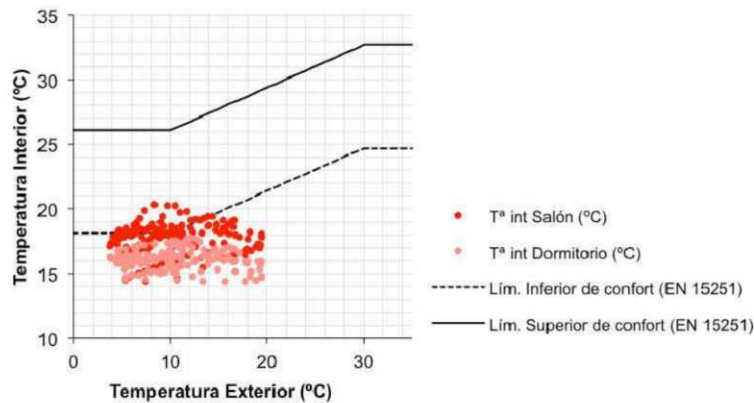
En general, los resultados de monitorización de parámetros ambientales en las viviendas del sur de España muestran una casuística similar en la evolución de las condiciones ambientales interiores: temperatura del aire, humedad relativa, concentración de CO<sub>2</sub>, confort térmico y consumo eléctrico. Durante el invierno, se suelen observar temperaturas interiores con valores que se encuentran la mayor parte del tiempo fuera de los límites de confort establecidos (Fig. 10), tanto por la normativa española vigente (Ministerio de la Vivienda 2013), como por el modelo adaptativo de la norma EN 15251 (CEN 2007) (Fig. 11,

Tabla 2).

En verano, la importante oscilación y elevados valores de la temperatura exterior tiene su reflejo en los elevados valores de temperatura interior, tanto en dormitorio como salón, con unas condiciones interiores significativamente alejadas de los valores de confort establecidos por la normativa española vigente. Debido a la severidad climática del verano en las regiones andaluzas, el modelo adaptativo de confort que propone la norma EN 15251 no sería aplicable durante este periodo, siendo necesaria una adecuación de éste a la severidad climática del sur de España.



**Fig. 10** Ejemplo de evolución de la temperatura del aire interior y exterior en una vivienda de zona climática B4 (Córdoba)



**Fig. 11** Rango de confort según normativa EN 15251 (CEN 2007). Ejemplo de evaluación de confort térmico interior durante una semana de invierno en una vivienda de zona climática B4 (Córdoba)

**Tabla 2** Análisis del nivel de confort según normativa EN 15251 (CEN 2007) durante una semana de invierno en una vivienda de zona climática B4 (Córdoba)

	19 diciembre 2016 – 25 diciembre 2016			
	% horas ocupado	% horas fuera de confort	Desviación típica	% uso de calefacción
Salón	58,93 %	80,95 %	-0,83 %	86 %
Dormitorio	36,90 %	100 %	-2,40 %	0 (No existe)

## 5. Conclusiones

En Europa existe un importante parque residencial que necesita ser rehabilitado para solventar sus graves carencias energéticas y falta de confort. De forma previa a la rehabilitación es necesario llevar a cabo un análisis del comportamiento ambiental y energético de este parque residencial. Para ello es necesaria una metodología específica basada en la monitorización y realización de pruebas experimentales que permita validar las herramientas de simulación energética y predecir la eficiencia de estrategias de rehabilitación. Esta metodología puede ser aplicable a diferentes escalas de estudio: urbana, conjunto residencial o vivienda.

El uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) ofrece la posibilidad de obtener una base de datos que caracterice el parque residencial social (definición constructiva, calificación energética y evaluación de su potencial de mejora), para conseguir una visión global de su composición y enfocar la problemática general con soluciones estándar que sean aplicables a un número significativo de casos de estudio con características similares. Además, el estudio territorial del parque residencial ha demostrado graves carencias en las viviendas analizadas, con bajas calificaciones energéticas, en su

mayoría en el rango E-G. Esta herramienta es muy útil para marcar el objetivo hacia el que deben enfocarse las futuras políticas energéticas de rehabilitación a nivel territorial.

La baja prestación energética de la envolvente térmica de las viviendas analizadas provoca que, a pesar de la suavidad climática del área mediterránea, las condiciones ambientales interiores de la vivienda social estén alejadas de las condiciones de confort. El uso esporádico e intermitente de equipos locales de calefacción poco eficientes provoca que en invierno apenas se consiga mantener la vivienda en condiciones de confort. A su vez, las elevadas temperaturas del verano durante el día sobrecalientan las estancias de la vivienda, resultando imprescindible la ventilación nocturna para disipar parte de este calor.

La evaluación del confort térmico en las viviendas se realiza según un modelo estático de acuerdo a la normativa española vigente. Sin embargo, este tipo de modelos suele ser muy restrictivo y además no tiene en cuenta la capacidad de adaptación de los usuarios de una vivienda. Por ello, el empleo de modelos de confort adaptativo se convierte en una herramienta eficaz para conseguir una mayor aproximación a las condiciones de confort. La investigación en el ajuste de modelos adaptativos a las condiciones climáticas cálidas es necesaria para hacer frente a su limitación de uso bajo condiciones de verano muy severas.

La información recopilada durante la monitorización, al aplicar la metodología propuesta, será el punto de partida para la obtención de modelos energéticos cuya simulación produzca resultados próximos al comportamiento real de los edificios, pues se reducirán notablemente las variables inciertas con respecto al comportamiento del usuario y a las características constructivas del edificio.

## Referencias

ASHRAE (2002). Guideline 14-2002: Measurement of Energy and Demand Savings.

CEN (2007) Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. In: Standard EN 15251. CEN, Brussels.

CE3X (v.2.1) [computer software].

<http://www.minetad.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIAENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>. Accessed 9 Jul 2017.

Cipriano J, Mor G, Chemisana D, Pérez D, Gamboa G, Cipriano X (2015) Evaluation of a multi-stage guided search approach for the calibration of building energy simulation models. *Energy and Buildings* 87: 370-385. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.08.052.

Di Pilla L, Desogus G, Mura S, Ricci R, Di Francesco M (2016) Optimizing the distribution of Italian building energy retrofit incentives with Linear Programming. *Energy and Buildings* 112: 21-27.

Domínguez S, Sendra JJ, Oteiza I (2016) La envolvente térmica de la vivienda social. El caso de Sevilla, 1939 a 1979. Madrid: CSIC.

Escandón R, Suárez R, Sendra JJ (2016) Protocol for the energy assessment of social housing stock: the case of Southern Europe. *Energy Procedia* 96: 907-915. doi: 10.1016/j.egypro.2016.09.164.

European Parliament (2012) Directive 2012/27/EU:

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN>. Accessed 9 Jul 2017.

Google Maps: <https://www.google.es/maps/>. Accessed 27 Feb 2015.

Guerra-Santín O, Tweed CA (2015) In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings* 93: 189-207.

Guerra-Santín O, Tweed C, Jenkins H, Jiang S (2013) Monitoring the performance of low energy dwellings: Two UK case studies. *Energy and Buildings* 64: 32-40. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.04.002.

Martínez-Hervás M, Sendra JJ, Suárez R (2015) Towards A Sustainable Retrofitting Plan for Social Housing in Mediterranean Europe. In: *The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods*, 147-163.

Martínez-Hervás M, Sendra JJ, Suárez R (2017). Towards an energy assessment on an urban scale for retrofitting the housing stock in Mediterranean cities. *Procedia Environmental Sciences*, 38, 688-695. doi: 10.1016/j.proenv.2017.03.150

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España. CE3X [Software] Versión 2015/06\_2.1. <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx> Accessed 10 Feb 2016.

Ministerio de Vivienda (2013) Código Técnico de la Edificación (CTE).

Real Decreto 235/2013, por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los Edificios. Sec. I. Pág. 27548.

Sánchez de la Flor FJ, Álvarez S, Molina JL, González R (2008) Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations. *Energy and Buildings* 40: 1984–1990.

Santamouris M, Alevizos SM, Aslanoglou L, Mantzios D, Milonas P, Sarelli I, Karatasou S, Cartalis K, Paravantis JA (2014) Freezing the poor—Indoor environmental quality in low and very low income households during the winter period in Athens. *Energy and Buildings* 70: 61–70. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.11.074.

Sech-Spahousec Project (2011) Analysis of the Energy Consumption in the Spanish Households. [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Informe\\_SPAHOUSEC\\_ACC\\_f68291a3.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAHOUSEC_ACC_f68291a3.pdf) Accessed 9 Jul 2017.

Sede Electrónica del Catastro. Dirección General del Catastro, Secretaría de Estado de Hacienda. Ministerio de Hacienda y Función Pública. Gobierno de España. <https://www.sedecatastro.gob.es/> Accessed 27 Feb 2015.

Sendra JJ, Domínguez-Amarillo S, Bustamante P, León AL (2013) Energy intervention in the residential sector in the south of Spain: Current challenges. *Informes de la Construcción* 65 (532): 457-464. doi: 10.3989/ic.13.074.

Sunikka-Blank M, Galvin R (2012) Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research & Information* 40: 260-273. doi: 10.1080/09613218.2012.690952.

UNE EN 13187 (2013) Thermal performance of buildings – qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – infrared method.

UNE EN 13829 (2013) Thermal performance of buildings – deterioration of air permeability of buildings – fan pressurization method.

## 6. Agradecimientos

Esta investigación ha sido parcialmente financiada por el V Plan Propio de Investigación de la Universidad de Sevilla.