

Tesis Doctoral/PhD Dissertation

**ENVOLVENTES EDIFICATORIAS Y
VIVIENDA SOCIAL EN EL SUR DE
EUROPA**

*Evaluación energética del parque de
viviendas sociales de la ciudad de Sevilla bajo
el escenario de Cambio Climático*

**BUILDING ENVELOPES AND SOCIAL
HOUSING IN SOUTHERN EUROPE**

*Energy assessment of the residential social
stock of the city of Seville under the Climate
Change Scenario*

Autor:

Samuel Domínguez Amarillo

Director del Trabajo de Tesis:

Prof. Dr. D. Juan José Sendra Salas



Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1



Tesis Doctoral/PhD Dissertation

VOLUMEN I

BUILDING ENVELOPES AND SOCIAL HOUSING IN SOUTHERN EUROPE

Energy assessment of the residential social stock of the city of Seville under the Climate Change Scenario

ENVOLVENTES EDIFICATORIAS Y VIVIENDA SOCIAL EN EL SUR DE EUROPA

Evaluación energética del parque de viviendas sociales de la ciudad de Sevilla bajo el escenario de Cambio Climático



Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1

Autor:

Samuel Domínguez Amarillo

Sevilla, 2015

Director del Trabajo de Tesis:

Prof. Dr. D. Juan José Sendra Salas (Universidad de Sevilla)

Adscrito al programa de Doctorado de Rehabilitación Arquitectónica y Urbana de la Universidad de Sevilla

Dissertation submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Ph Doctor

Tesis propuesta como cumplimiento parcial de los requisitos para el doctorado en Arquitectura

ENVOLVENTES EDIFICATORIAS Y VIVIENDA SOCIAL EN EL SUR DE EUROPA

Evaluación energética del parque de viviendas sociales de la ciudad de Sevilla bajo el escenario de Cambio Climático

ENVOLVENTES EDIFICATORIAS Y VIVIENDA SOCIAL EN EL SUR DE EUROPA

Evaluación energética del parque de viviendas sociales de la ciudad de Sevilla bajo el escenario de Cambio Climático

por

Samuel Domínguez Amarillo

Abstract

Las viviendas sociales construidas sin criterios de aislamiento térmico constituyen uno de los conjuntos más importantes del parque de viviendas de las ciudades del sur de Europa. Habitualmente sus ocupantes disponen de recursos limitados para el mantenimiento de las condiciones ambientales interiores con sistemas de acondicionamiento térmico, soportando largos periodos de tiempo de ausencia de confort y salubridad en los hogares, pese a que estos hogares están ubicados en ciudades de climas habitualmente calificados como benignos. Tal es el caso del parque de viviendas de Sevilla, ciudad elegida para el desarrollo de esta tesis. Se ha constatado que la reducida cantidad de energía usada normalmente para el acondicionamiento térmico de estas viviendas tiene como consecuencia, en la mayoría de los casos, que el potencial de ahorro en el consumo de energía sea muy limitado. Por tanto, resulta necesario un cuidadoso diseño de las intervenciones en este parque de viviendas. El objetivo principal de esta tesis es presentar un estudio de amplio espectro sobre el comportamiento energético de la vivienda social de una de las grandes ciudades españolas, Sevilla, situada en el sur de España y, cuyas condiciones climáticas son representativas de las áreas más meridionales del sur de Europa. El trabajo propone una metodología de análisis del parque edificado residencial basada en la caracterización de su envolvente térmica, y que podría ser replicable para las diferentes zonas urbanas del sur europeo. Se han identificado cuáles son las características principales que tienen afección sobre el comportamiento energético del parque residencial, y se ha establecido una catalogación de su envolvente térmica, atendiendo no solo a los elementos constructivos que la constituyen, sino también a aquellos aspectos morfológicos con influencia en este comportamiento. El análisis no se efectúa únicamente de un modo global en el periodo de estudio, sino que incluye un estudio de la distribución temporal de soluciones y sus resultados, identificando los aspectos más representativos para los diferentes momentos del periodo, normalmente por décadas. Una de las principales novedades es la introducción en el análisis de los procesos de cambio climático, con objeto de conocer, y poder atender, la modificación previsible de la respuesta de los edificios antes diversos escenarios.

BUILDING ENVELOPES AND SOCIAL HOUSING IN SOUTHERN EUROPE.

Energy assessment of the residential social stock of the city of Seville under the Climate Change Scenario

by

Samuel Domínguez Amarillo

Abstract

Social housing built without thermal insulation criteria makes up one of the most important parts of the social housing stock in the cities of southern Europe. Occupants in such housing often have limited resources to use climate control systems to maintain indoor environmental conditions, and often go for long periods of discomfort and unhealthy conditions at home, even though these properties are located in climates generally classified as mild. This is the case of the housing stock in Seville, the city chosen to carry out this thesis. It has been shown that, in most cases, the reduced amount of energy normally used to thermally condition these properties means that potential energy consumption savings are severely limited. In consequence, all interventions in this housing stock must be thought through with great care. The main aim of this research is to present a wide-ranging study on the energy performance of social housing in one of the largest cities in Spain, Seville. This city is located in southern Spain, and has climate conditions which are representative of the southernmost areas of southern Europe. The paper proposes a methodology for analysing residential housing stock based on the characterisation of their thermal envelopes, which could be replicated for different urban areas of southern Europe. The main characteristics which influence the energy performance of the housing stock have been identified and their thermal envelopes have been catalogued, dealing not only with their comprising construction elements but also those morphological aspects which influence this performance. Rather than simply providing an overview of the study period, this analysis also includes a study of the temporal distribution of solutions and results, and identifies the most representative aspects of the different times of the study period, normally by decade. One of the most important innovations is the introduction in the analysis of climate change processes, in order to know –and, in consequence, deal with– the changes it is envisaged will be necessary for buildings to respond to different scenarios.

para Jessica

и вы должны держать свою мечту

*Si vas a emprender el viaje hacia Itaca
pide que tu camino sea largo,
rico en experiencia, en conocimiento.
[...]
Ten siempre a Itaca en la memoria.
Llegar allí es tu meta.
Mas no apresures el viaje.
Mejor que se extienda largos años;
y en tu vejez arribes a la isla
con cuanto hayas ganado en el camino,
sin esperar que Itaca te enriquezca.
Itaca te regaló un hermoso viaje.
Sin ella el camino no hubieras emprendido.
Más ninguna otra cosa puede darte.
Aunque pobre la encuentres, no te engañará Itaca.
Rico en saber y vida, como has vuelto,
comprendes ya qué significan las Itacas.*

(C. Kavafis, 1863-1933, Poesías completas, XXXII)

Nota al lector

Esta Tesis se ha redactado en dos idiomas oficiales de la Unión Europea, español e inglés, para optar a la mención “Doctor Internacional” en el título Doctor.

En español se ha redactado la totalidad del texto, habiendo sido utilizada estructura bilingüe español-inglés para el resumen, el bloque I y las conclusiones.

Note to the reader

This PhD Thesis was written in two official languages of the European Union, English and Spanish, to obtain the “International Doctorate” mention in the PhD degree.

In Spanish was written the entire text, having used a bilingual structure in Spanish and English for the summary, the block I and the conclusions.

La arquitectura y los arquitectos

...Es preciso también que tenga conocimientos de la medicina, debido a los diversos climas -en griego climata- tanto de la atmósfera como de las localidades o zonas concretas, ya que pueden ser saludables o nocivas precisamente por la calidad de sus aguas. Sin tener en cuenta estos aspectos, no es posible construir una vivienda saludable.

M. Vitruvii Pollionis. De Architectura Libro 1. Cap. 1. 10

Agradecimientos

La culminación de este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de un gran número de personas e instituciones, sería largo recogerlos a todos aquí, pero el autor desea expresar su especial agradecimiento a algunos de ellos en representación.

Este trabajo se beneficia del largo e intenso trabajo del grupo de investigación TEP 130 Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Patrimonio, Iluminación y Energía, a cuyos directores durante los últimos años, quisiera expresarles mi mayor gratitud por tener el privilegio de participar en el mismo. En especial los proyectos de investigación EFFICACIA, EnergyTIC y REFAVIV han sido claves en el desarrollo de esta tesis doctoral.

Expresar el agradecimiento al Ministerio de Economía y Competitividad, Gobierno de España, por las ayudas BIA2012-39020-C02-01 y BES-2013-063097 a través del proyecto del Plan Nacional de I+D REFAVIV, liderado por el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

A la Corporación Tecnológica de Andalucía por la concesión de la ayuda de financiación pública (Código ATC : 07161 D1 A) para el proyecto EFFICACIA, el cual fue también promovido y financiado por la Empresa Municipal de la Vivienda de Sevilla (EMVISESA) y SODINUR SL, a todos el autor desea expresar su agradecimiento por su apoyo y colaboración.

Igualmente a la Comisión Europea y la empresa Wind Inertia Technologies SL por la financiación y la oportunidad de participar en el proyecto EnergyTIC.

Quisiera realizar un agradecimiento especial a las personas que han sido claves e indispensables en la elaboración de este trabajo:

- A la investigadora del Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Jessica Fernández-Agüera, por su ayuda, apoyo incondicional e intuición que ha sido guía fundamental en la consecución de este trabajo.
- Al director de este trabajo de tesis doctoral, el profesor Juan José Sendra Salas, el cual representa a esa lista de maestros, los cuales han hecho ciertas las palabras de *Bernardo de Chartres: a hombros de gigantes*. Gracias por todo el apoyo ilimitado, consejo y guía, perseverancia, y dedicación más allá del deber.
- Al profesor Eugenio Domínguez de la Catedra de Medio Ambiente de la Universidad de Córdoba, por ofrecerme sus consejos, su ayuda y sabiduría.

A la Universidad de Sevilla, y más concretamente a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura y su Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, donde he desarrollado mi carrera como investigador y docente, por su apoyo y facilidades aportadas para el desarrollo de este trabajo. A mis compañeros, tanto del grupo de investigación como del equipo docente, porque en mayor o menor medida todos han contribuido en este trabajo.

En particular agradecer a la Universidad de Sevilla su apoyo financiero, para el desarrollo de una estancia internacional de investigación en la preparación de este trabajo, a través de la ayuda de movilidad del *IV Plan Propio de Investigación*.

Al profesor Sandro Fuzzi y a todo su equipo del Instituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) de Bolonia (Italia) perteneciente al Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) por acogerme en mi estancia de investigación, así como el permitirme el uso de sus instalaciones, documentación y su fabuloso capital humano.

Quiero personalizar en los investigadores Ignacio Oteiza San José y María Teresa Cuerdo Vilches mi gratitud al Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, como representación de todo el equipo de Madrid que fue germen del proyecto REFAVIV.

A los investigadores y colaboradores del proyecto REFAVIV por sus aportaciones y por contribuir en su desarrollo exitoso. En especial agradecer la colaboración de la investigadora Rocío Escandón Ramírez, y a los colaboradores Ismael Virués Mera, Jesús Arroyo Ranchal, Paula Moreno González, Valme Rubio Moreno y Juan Francisco Molina Rozalem.

Agradecer al Dr. Yi Zhang from *EmSims Supercomputing Centre*, quienes han cedido generosamente tiempo y capacidad de computación de su sistema, lo que ha permitido el desarrollo de los modelos energéticos más complejos.

Expresar un especial agradecimiento a todas las instituciones y empresas que han abierto sus archivos y aportado información sobre el parque de viviendas de la ciudad de Sevilla: a la Fundación para la Investigación y Difusión de la Arquitectura de Sevilla (FIDAS) y Colegio Oficial de Arquitectos de Sevilla, en especial a José María Gentil Baldrich; a la Gerencia de Urbanismo de Sevilla Servicio de Arquitectura y Vivienda social y el Archivo de la Gerencia Municipal de Urbanismo de Sevilla; al Archivo Histórico Provincial de Sevilla; a la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía, en especial a Juan Manuel García Blanco; a la Oficina de Rehabilitación Integral del Polígono Sur, en especial a Carmen Nieto Rubio; a Sur Arquitectura S.L.P., en especial al arquitecto José Ignacio Monsalve Martínez; al grupo de Investigación de la Universidad de Granada: Vivienda Eficiente y Reciclaje Urbano (grupo RNM909) y a su investigadora Isabel Díaz Almele.

No sería posible finalizar esta lista sin un recuerdo al magnifico equipo de la Biblioteca de Arquitectura de la Universidad de Sevilla, el cual ha prestado un apoyo entusiasta, sin cejar en el esfuerzo por raras que fueran las peticiones.

ÍNDICE

| | | |
|--------|--|-----------|
| 0. | Resumen/Summary | 1 |
| 1. | Introducción | 13 |
| 1.1. | Contexto, interés y oportunidad | 13 |
| 1.3. | Estructura del trabajo de tesis | 19 |
| 2. | Antecedentes | 21 |
| 2.1. | Antecedentes de la investigación | 21 |
| 2.2. | Antecedentes generales y estado de la cuestión | 25 |
| 2.2.1. | Análisis de proyectos de referencia en el ámbito nacional | 30 |
| 2.2.2. | Análisis de Proyectos de referencia en el ámbito europeo | 30 |
| 3. | Objetivos | 31 |
| 3.1. | Objetivos generales | 32 |
| 3.2. | Objetivos específicos | 32 |
| 4. | Hipótesis generales del trabajo | 35 |
| 4.1. | Descripción de las hipótesis | 35 |
| 4.2. | Hipótesis de trabajo | 36 |
| 5. | Resumen Metodológico | 39 |
| | BLOQUE I Discusión del problema | 47 |
| 6. | Energy intervention in the residential sector in the south of Spain: current challenges/ Intervención energética en el sector residencial del sur de España: retos actuales | 48 |
| 1.- | Introduction | 50 |
| 2.- | Research, scope and case study | 51 |
| 3.- | Monitoring of the housing units | 52 |
| 3.1.- | Monitoring indoor temperatures | 52 |
| 3.2.- | Monitoring of consumption | 53 |

| | |
|--|----|
| 4.- User surveys on occupation and consumption habits | 56 |
| 5.- New challenges and methods for knowledge of energy use and control in social housing | 58 |
| 6.- Conclusions | 59 |

BLOQUE II. La envolvente térmica de la vivienda social 63

| | |
|--|-----|
| 7. La envolvente térmica de la vivienda social. El caso de Sevilla, 1939 a 1979 | 65 |
| 1. Introducción | 69 |
| 1.1. Contexto general. | 69 |
| 1.2. El proyecto REFAVIV | 70 |
| 1.3. Objetivos del estudio | 71 |
| 2. Contexto y análisis | 73 |
| 2.1. La vivienda social en la construcción de la ciudad, 1939 a 1979. | 73 |
| 2.2. La importancia de la vivienda protegida en Sevilla. | 83 |
| 2.3. Los planes de intervención y rehabilitación energética aplicados al parque de vivienda social del periodo: riesgos y oportunidades. | 88 |
| 3. Propuesta metodológica | 91 |
| 3.1. Metodología general del trabajo | 91 |
| 3.2. Criterios para la catalogación | 92 |
| 3.3. Criterio de inclusión en el periodo | 93 |
| 3.4. Criterio de identificación de vivienda social | 95 |
| 3.5. Evaluación energética de los cerramientos: bases de partida. | 96 |
| 3.6. Criterio de clasificación de cerramientos | 98 |
| 3.7. Criterio de morfología | 107 |
| 4. ANÁLISIS | 110 |
| 4.1. Evaluación energética de los tipos de cerramientos | 110 |
| 4.2. Caracterización de los cerramientos de fachada | 122 |
| 4.3. Caracterización de las cubiertas. | 138 |
| 4.4. Caracterización de los huecos | 146 |
| 4.5. Caracterización morfológica y tipológica | 156 |
| 4.6. Protección histórica y urbanística | 163 |
| 4.7. Grado de modificación de la envolvente energética | 163 |
| 4.8. Caracterización normativa | 165 |
| 4.9. Riesgo de humedades de condensación | 170 |
| 5. Conclusiones | 179 |
| 5.1. Conclusiones sobre el periodo normativo | 179 |
| 5.2. Conclusiones sobre la caracterización del parque edificatorio | 180 |
| AGRADECIMIENTOS | 188 |
| REFERENCIAS | 189 |
| FUENTES DOCUMENTALES | 194 |

| | |
|--|-----|
| LISTADO DE FIGURAS | 195 |
| LISTADO DE TABLAS | 198 |
| APENDICE 1 | 199 |
| A.1. Soluciones constructivas tipo para cerramientos de fachada | 200 |
| A.2. Soluciones constructivas tipo para cerramientos de cubierta | 201 |
| FICHAS DE DETALLE | 203 |

BLOQUE III. Análisis ambiental y climático 205

| | | |
|--------|---|-----|
| 8. | EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PARQUE DE VIVIENDAS | 207 |
| 8.1. | Consideraciones iniciales | 207 |
| 8.1.1. | Cambio climático y parque edificado de viviendas | 209 |
| 8.2. | Evolución climática previa del área y situación de partida | 212 |
| 8.2.1. | Contexto continental y peninsular. | 212 |
| 8.2.2. | Contexto local de la ciudad de Sevilla | 216 |
| 8.3. | Modelos de predicción de ámbito general para el siglo XXI. | 223 |
| 8.3.1. | Modelos de predicción del uso de la energía para el acondicionamiento ambiental. | 230 |
| 8.3.2. | Proyección de los modelos para la ciudad de Sevilla | 232 |
| 8.4. | Construcción de un modelo climático de proyección futura para simulación del comportamiento de los edificios. | 239 |
| 9. | Condiciones ambientales de las viviendas sociales: el caso de Sevilla | 245 |
| 9.1. | Diseño del análisis experimental | 245 |
| 9.2. | Viviendas grupo de control | 245 |
| 9.2.1. | Invierno: comportamiento de las viviendas de referencia. | 248 |
| 9.2.2. | Verano: comportamiento de las viviendas de referencia | 255 |
| 9.3. | Viviendas periodo previo a 1979. Grupo de contraste | 267 |
| 9.3.1. | Invierno: comportamiento de las viviendas del grupo de contraste | 268 |
| 9.3.2. | Verano: comportamiento de las viviendas del grupo de contraste | 274 |
| 10. | Disponibilidad de calefacción y refrigeración | 280 |
| 10.1. | Descripción del análisis de las capacidades de tratamiento térmico | 280 |

- 10.2. Análisis de las capacidades de tratamiento térmico de las viviendas 281
- 10.3. Fuentes energéticas para la calefacción de las viviendas 288
- 10.4. Evaluación del estado actual de las capacidades de acondicionamiento térmico del parque de viviendas bajo estudio. 293

BLOQUE IV. Comportamiento energético 295

- 11. Uso de la energía bajo análisis multi-escenario 297
 - 11.1. Identificación de los edificios 299
 - 11.1.1. Descripción de los edificios y representación dentro del periodo temporal 299
 - 11.2. Identificación de los escenarios de análisis 303
 - 11.2.1. Definición de los escenarios de simulación. 306
 - 11.2.2. Escenarios combinados 309
 - 11.3. Generación de modelos energéticos 310
 - 11.3.1. Construcción de los modelos energéticos. 311
 - 11.3.2. Parámetros de modelado del edificio 311
 - 11.4. Caracterización de parámetros de la envolvente de la muestra 319
 - 11.4.1. Transmitancia global del edificio 322
 - 11.4.2. Valoración de la compacidad 323
 - 11.4.3. Repercusiones de la fracción semitransparente y opaca de la fachada 325
 - 11.4.4. Influencia de la cubierta 328
 - 11.5. Análisis del desempeño energético de la muestra 330
 - 11.5.1. Resultados de las demandas generales de energía para la muestra de estudio: Comparación intra-escenarios. 330
 - 11.5.2. Análisis de las demandas de energía de los modelos 334
 - 11.5.3. Influencia de la cubierta en el comportamiento de la demanda de energía 346
 - 11.5.4. Modelos de potencial de mejora limitado 348
 - 11.5.5. Influencia de la Orientación y Grado de Exposición 349

| | | |
|---|---|------------|
| 11.6. | Comportamiento de los escenarios | 350 |
| 11.7. | Modelos para exportar a la población los valores del análisis del caso de estudio | 353 |
| 11.8. | Análisis de la fortaleza de las correlaciones | 358 |
| | 11.8.1. Relaciones entre variables: análisis multivariable. | 358 |
| | 11.8.2. Correlaciones bivariadas | 366 |
| 11.9. | Análisis de la sensibilidad frente a los escenarios de análisis. | 374 |
| | 11.9.1. Sensibilidad de los modelos. | 374 |
| | 11.9.2. Sensibilidad de los tipos de cerramiento de fachada. | 376 |
| 11.10. | Validación y calibración de modelos energéticos | 381 |
| | 11.10.1. Análisis de sensibilidad | 382 |
| | 11.10.2. Metodología de calibración | 382 |
| | 11.10.3. Análisis de la calibración obtenida de los modelos | 384 |
| BLOQUE V. Conclusiones y futuras líneas de investigación | | 387 |
| 12. | Conclusiones | 389 |
| 12. | Conclusions | 407 |
| 13. | Futuras líneas de investigación | 423 |
| | Listado de figuras | 427 |
| | Listado de tablas | 445 |
| | Referencias bibliográficas | 451 |

VOLUMEN II

| | |
|---|------------|
| Estructura del documento. | 1 |
| Anexo a. Caracterización de las viviendas sociales del parque de Sevilla en el periodo 1939-1979 | 3 |
| a.1 Fichas de detalle de los edificios pertenecientes a la muestra de estudio para la caracterización de las viviendas sociales del parque de Sevilla en el periodo 1939-1979 | 5 |
| a.2 Fichas generales de identificación de los edificios que forman parte de la muestra general de viviendas sociales del parque de Sevilla en el periodo 1939-1979 | 7 |
| Anexo b. Caracterización del comportamiento energético de las viviendas de tipo social en Sevilla bajo escenarios actuales | 407 |
| b.1 Fichas de resultados de simulación energética del comportamiento de las viviendas con modelo base | 409 |
| b.2 Fichas de resultados de simulación energética del comportamiento de las viviendas con modelo base alternativo | 411 |
| Anexo c. Potencial de mejora energética de las viviendas de tipo social en Sevilla bajo escenarios evolucionados actuales. | 497 |
| c.1 Fichas de resultados de simulación energética del comportamiento de las viviendas con modelo rehabilitado. | 499 |
| c.2 Fichas de resultados de simulación energética del comportamiento de las viviendas con modelo rehabilitado alternativo | 543 |
| Anexo d. Caracterización del comportamiento energético de las viviendas de tipo social en Sevilla bajo el escenario cambio climático Had.CM3-A2 año 2050. | 587 |
| d.1 Fichas de resultados de simulación energética del comportamiento de las viviendas con modelo base alternativo futuro. | 589 |
| d.2 Fichas de resultados de simulación energética del comportamiento de las viviendas con modelo rehabilitado alternativo futuro. | 677 |
| Anexo e. Análisis de proyectos de investigación sobre el parque de vivienda existente y su comportamiento energético. | 679 |
| e.1 Análisis de Proyectos de ámbito nacional. | 681 |
| e.2 Análisis de proyectos de ámbito europeo. | 703 |

0. Resumen/Summary

En los edificios de viviendas españoles podemos estimar que la mitad del consumo energético se debe a los sistemas de calefacción y refrigeración. En general, la inversión en rehabilitación para limitar su demanda energética puede calificarse como de interés estratégico; sin embargo, aunque la aplicación de las técnicas actuales de análisis energético normalmente dibuje un panorama de un significativo potencial de ahorro de energía con la rehabilitación del parque residencial, hemos podido comprobar que en muchas situaciones, especialmente en el área sur europea, la situación real puede presentar desviaciones importantes de los comportamientos energéticos esperados.

El trabajo constata que, en el parque de viviendas sociales del sur de España, no existe habitualmente una relación directa entre la demanda esperable de energía y el uso real de la misma. Se tiende a un consumo energético por debajo del esperado, consecuencia en gran parte de que sus habitantes viven periodos prolongados de ausencia de condiciones adecuadas de habitabilidad y salubridad. Para el diseño de estrategias efectivas de rehabilitación, en términos de coste efectivo, es necesario profundizar en la investigación y caracterización de estos comportamientos energéticos.

El parque de viviendas construido bajo figuras de protección social con anterioridad al año 1979, es decir, previamente a la implantación de normas de obligado cumplimiento de limitación de la demanda de energía, no solo en España sino también en muchos países de Europa, representa una porción muy significativa de las viviendas que conforman las ciudades europeas actuales, en especial España y área sur continental. Habitualmente estos edificios presentan limitadas capacidades de control térmico de sus ambientes interiores, situación que afecta principalmente a los sectores de menor renta de la sociedad, normalmente con menores recursos para hacer uso de sistemas artificiales de mantenimiento del confort interior.

We can estimate that half of the energy consumption in Spanish buildings comes from climate control. In general terms, any investment made in refurbishing buildings in order to limit their energy demand can be classified as being of strategic interest. However, we have found that, although the application of current energy analysis techniques can imply significant potential energy savings when rehabilitating housing stock, it is often the case that significant deviations from the envisaged energy performance can come about, in particular in southern Europe.

This work has demonstrated that there is generally no direct relation between envisaged and real energy demand in social housing in southern Spain. Indeed energy consumption tends to be lower than expected, due mainly to the fact that inhabitants spend long periods in unsuitable living and health conditions. Further research and characterisation of such energy performance is necessary in order to design effective, cost-effective strategies for the rehabilitation of buildings.

Social housing stock built prior to 1979, i.e. before the effective implementation of mandatory rules on the limitation of demand for energy, not only in Spain but also in many other European countries, makes up a significant share of the residential properties found in European cities today, most notably in Spain and southern Europe. These buildings generally have limited capability in terms of thermal control of the interior environment, a problem which mainly affects less privileged members of society, who have fewer resources to maintain artificial indoor climate control systems.

Este parque residencial presenta un carácter no homogéneo, siendo muy diferentes tanto las tipologías como la construcción de sus envolventes, por lo que, al ser estos factores los que fundamentalmente van a marcar el comportamiento energético de las viviendas, es necesario su estudio, identificación y caracterización.

El objetivo principal de esta investigación es presentar un estudio de amplio espectro sobre el comportamiento energético de la vivienda social de una de las grandes ciudades españolas, Sevilla, situada en el sur de España y, cuyas condiciones climáticas son representativas de las áreas más meridionales del sur de Europa. Con unas condiciones benignas en invierno y extremas en verano, la reflexión sobre el acondicionamiento térmico de sus viviendas, especialmente las de tipo social, ha sido subordinada habitualmente a aspectos economicistas. Este trabajo busca, entre otros objetivos, aumentar el conocimiento detallado del parque edificatorio existente de la ciudad y su relación con el comportamiento energético y control ambiental.

Pretende ser un avance respecto a estudios más generales, mayoritarios hasta ahora, aportando una visión individualizada de las diferentes soluciones que podemos encontrarnos en el periodo temporal en el que se construye casi la mitad del parque de viviendas actual, ya que se centrará fundamentalmente en el periodo que transcurre entre el final de la Guerra Civil española (1939) y la aparición de la Norma Básica de la Edificación CT-79 (1979). Los edificios objetos de estudio la literatura científica anglosajona los denomina *non insulated buildings*.

Una de las principales novedades del estudio, en el contexto de las edificaciones urbanas, es la consideración de que la climatología local no es inmutable; presenta transformaciones continuas, motivadas tanto por la propia variabilidad natural como por la influencia antropogénica, bajo los denominados procesos de cambio climático (CC). El clima que afecta a los edificios ha sufrido, y sufrirá, modificaciones que tendrán una repercusión directa en el comportamiento energético de las viviendas. Se ha realizado un análisis de las características de esta evolución y de las principales interacciones con estos edificios, y se ha generado un escenario de evaluación futuro, con el fin de poder definir relaciones, entre la situación actual y la futura, sobre los factores que

This housing stock is not uniform in character, but rather comprises many different typologies of envelope construction, and in consequence, given the fundamental importance of these factors on the energy performance of the properties, it is necessary to duly study, identify and characterise them.

The main aim of this research is to present a wide-ranging study on the energy performance of social housing in one of the largest cities in Spain, Seville. This city is located in southern Spain, and has climate conditions which are representative of the southernmost areas of southern Europe. With extremely mild winters and very hot summers, the thermal conditioning of properties, especially in the social housing sphere, has generally taken second place to economic aspects. This work aims to, amongst other objectives, increase the level of detailed information on the city's housing stock and establish its relationship with energy performance and climate control.

It also looks to go further than other more general studies carried out previously, in order to offer an individualised perspective of the different solutions which can be found in the time period during which almost half of the current housing stock was constructed, fundamentally between the end of the Spanish Civil War (1939) and the appearance of Basic Building Standard CT-79 (1979). The buildings considered in this study are known as non-insulated buildings.

One of the main innovations of the study, in the context of urban buildings, is the consideration that the local weather is not immutable, but rather presents continuous transformations, not only through its natural variability but also due to anthropogenic factors such as the different processes of climate change (CC). The climate which affects buildings has undergone –and will continue to undergo– changes which will have a direct effect on the energy performance of the properties. The characteristics of this evolution and the main interactions with these buildings have been analysed, generating a future evaluation scenario in order to define any relationships between the current situation

caracterizan el comportamiento energético del edificio y el modo de uso de la energía.

Dada la dependencia directa de la climatología en las condiciones del ambiente interior de los edificios, los procesos de Cambio Climático generan una modificación de su respuesta energética. Esta situación altera tanto la evaluación de la envolvente energética, como las predicciones sobre las repercusiones previsibles de las diferentes estrategias actuales de intervención y mejora energética sobre el parque de viviendas.

Se analiza la capacidad de la envolvente, bajo diferentes hipótesis de trabajo, de actuar como moderador y elemento de protección frente a las acciones climáticas, tanto las actuales como las previstas en un futuro próximo.

Se establecen valores de los potenciales de reducción de la demanda de energía en estos edificios, ya que el consumo se verá afectado por los muy diferentes condiciones de uso y operacionales, y por los rendimientos (eficiencias) de los diferentes sistemas térmicos, por lo que su variabilidad es muy elevada. A partir de ellos se generan las bases de discusión sobre los márgenes reales que las técnicas de intervención tienen en la reducción del consumo energético.

Aunque el análisis y evaluación se centra fundamentalmente en la ciudad de Sevilla, tanto la metodología de trabajo como los procedimientos de clasificación son replicables a otras ciudades y ámbitos urbanos del sur de Europa.

Aplicando esta metodología, la investigación desarrollada en la tesis se presenta en cuatro bloques de análisis más un quinto bloque de conclusiones y líneas futuras de trabajo.

Discusión general del problema.

Caracterización del parque de viviendas sociales.

Análisis de parámetros ambientales: evolución climática y los procesos de cambio climático, condiciones térmicas habituales en las sus viviendas sociales y capacidades del parque residencial.

Generación de escenarios de predicción de comportamiento y desempeño energético.

and situations which may exist in the future in terms of factors which characterise the energy performance of the building and the way energy is used.

Since the ambient conditions inside the buildings depend directly on the weather, the processes of climate change will have a direct effect on their energy response. This situation affects both the assessment of the energy envelope and the predicted repercussions of the different strategies currently used to intervene in and improve the energy performance of the housing stock.

The capability of the envelope to intervene and provide protection from climate conditions, both currently existing and also envisaged in the near future, is analysed under different working hypotheses.

Values of the potential to reduce energy demand in these buildings are established, since consumption will be affected by many different conditions of use and operation, and also by the performance (efficiency) of the different thermal systems, meaning their variability is very high. These values are used to generate the basis of discussion on the actual margins which intervention techniques have in reducing energy consumption.

Although the analysis and evolution focuses fundamentally on the city of Seville, both the work methodology and the classification procedures can be replicated in other cities and urban areas in southern Europe.

Applying this methodology, the research developed in the thesis is presented in four blocks of analysis, plus a fifth block containing conclusions and areas for future work.

General discussion of the problem.

Characterisation of social housing stock.

Analysis of environmental parameters: evolving climate and climate change processes, common thermal conditions in social housing and capabilities of the housing stock.

Generation of scenarios to predict energy behaviour and performance.

El primer bloque lo constituye la discusión general del problema, los antecedentes y estudios previos, así como la situación general del parque de viviendas sociales en el sur de Europa. Se desarrolla mediante la inclusión del artículo: *Energy Intervention in the residential sector in the south of Spain: Current challenges*, publicado en la revista *Informes de la Construcción*.

El cuerpo central de la tesis lo constituye el bloque segundo. Se centra en el análisis y caracterización del parque de viviendas sociales de la ciudad de Sevilla. Contiene: la descripción del marco general, antecedentes y evolución del parque de viviendas; el desarrollo de una metodología de análisis y caracterización; y la evaluación de las características de las envolventes energéticas del parque. Se desarrolla mediante la inclusión del manuscrito que da lugar al libro *La envolvente energética de la vivienda social en el periodo de 1939 a 1979. El caso de Sevilla*, cuya publicación ha sido aceptada por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

El trabajo propone una metodología de análisis del parque edificado residencial basada en la caracterización de su envolvente térmica, y que podría ser replicable para las diferentes zonas urbanas del sur europeo. Se han identificado cuáles son las características principales que tienen afección sobre el comportamiento energético del parque residencial, y se ha establecido una catalogación de su envolvente térmica, atendiendo no solo a los elementos constructivos que la constituyen, sino también a aquellos aspectos morfológicos con influencia en este comportamiento.

El análisis no se efectúa únicamente de un modo global en el periodo de estudio, sino que incluye un estudio de la distribución temporal de soluciones y sus resultados, identificando los aspectos más representativos para los diferentes momentos del periodo, normalmente por décadas.

Se ha realizado una profunda investigación historiográfica que aporta información relevante sobre el desarrollo e influencia de este patrimonio arquitectónico en la ciudad moderna, pero, sobre todo, constituye la base fundamental en la que este estudio se sustenta. Combinando técnicas documentales, reconocimientos de campo y procedimientos analíticos de evaluación de sus

The first block sets out the general discussion of the problem, the background and previous studies, along with the general situation of social housing stock in southern Europe. It is developed by including the following article: *Energy Intervention in the Residential Sector in the South of Spain: Current Challenges*, published in the review *Informes de la Construcción*.

The second block forms the main body of the thesis. This focuses on analysing and characterising the social housing stock in the city of Seville. It contains: a description of the general framework, background and evolution of the housing stock, the development of a methodology for analysis and characterisation, and an assessment of the characteristics of the energy envelopes of the buildings. This is developed by including the manuscript which led to the book *Energy Envelopes in Social Housing in the Period 1939 to 1979. The Case of Seville*, which has been accepted for publication by the Higher Scientific Research Board.

The work proposes a methodology for analysing residential housing stock based on the characterisation of their thermal envelopes, which could be replicated for different urban areas of southern Europe. The main characteristics which influence the energy performance of the housing stock have been identified and their thermal envelopes have been catalogued, dealing not only with their comprising construction elements but also those morphological aspects which influence this performance.

Rather than simply providing an overview of the study period, this analysis also includes a study of the temporal distribution of solutions and results, and identifies the most representative aspects of the different times of the study period, normally by decade.

In-depth historical research has been carried out to provide relevant information on the development and influence of this architectural heritage on the modern city, constituting, most significantly, the basis of this study. Combining documentary

parámetros energéticos (tanto estáticos como dinámicos), se ha conseguido hacer una fiel representación del conjunto edificatorio y su evolución en el tiempo. Se ha generado una base de información y discusión bastante completa, en su mayoría original, que pretende dar soporte a los procesos de intervención en estos edificios.

El tercer bloque desarrolla el análisis ambiental del clima en la ciudad de Sevilla y de las condiciones térmicas habituales en sus viviendas sociales. Este bloque está dividido en tres capítulos: el primero analiza la evolución histórica del clima en la ciudad y su influencia sobre el parque de viviendas; establece los posibles escenarios de evolución según los procesos de cambio climático; como resultado de ello, se propone un modelo climatológico futuro, el cual será utilizado para la evaluación de las capacidades futuras del parque residencial. En el segundo capítulo de este bloque se analizan las condiciones ambientales de las viviendas sociales mediante el estudio de dos grupos de casos monitorizados; se realiza su tratamiento estadístico, contraste y comparación, obteniendo como resultado modelos probabilísticos de distribución de temperatura de las viviendas para los diferentes periodos anuales. El tercer capítulo del bloque la constituye el estudio de las capacidades de acondicionamiento térmico artificial del parque de viviendas actual y su evolución temporal.

En el bloque cuarto se desarrolla la discusión general de resultados, integrando los hallazgos más significativos extraídos del conjunto de análisis previos. Esto permite la construcción de un conjunto de modelos energéticos, representativos del parque de vivienda social del periodo, que sirven para evaluar: el comportamiento energético actual y el potencial de evolución; los aspectos más críticos en el consumo de energía; y la desviación de su comportamiento en situaciones futuras bajo los efectos de los procesos de cambio climático.

Con el fin de desarrollar esta investigación, se ha hecho preciso aplicar un conjunto de métodos, combinando procedimientos descriptivos, analíticos, observacionales y experimentales, con objeto de lograr una respuesta a un problema de carácter complejo y holístico, como es la relación entre los edificios de vivienda y su comportamiento energético. En síntesis, la metodología se concreta en el desarrollo de las etapas que se exponen a continuación.

techniques, field surveys and analytical procedures for the assessment of energy parameters (both static and dynamic), it provides an accurate representation of the series of buildings and their evolution over time. A sizeable collection of information and discussion, mostly original, has also been generated, which can be used as backup material for processes to be executed in these buildings.

The third block develops the environmental analysis of the climate in the city of Seville and the thermal conditions commonly found in its social housing. This block is divided into three chapters: the first block analyses the historic evolution of the climate in the city and its influence on the housing stock, and establishes possible evolution scenarios in accordance with climate change processes. As a result, a future climate model is proposed, which will be used to assess the future capabilities of the housing stock. The second chapter of this block analyses the environmental conditions of the social housing by studying two groups of monitored cases. This includes statistical processing, contrast and comparison, in order to obtain temperature distribution probabilistic models for the different year-long periods. The third block is made up of the study of the capabilities of the artificial thermal conditioning of the current housing stock and its evolution over time.

The fourth block develops the general discussion of results, bringing together the most significant conclusions of the series of analyses completed. This allows the construction of a series of energy models which are representative of the social housing stock of the period, and which can be used to assess current energy performance and potential evolution, the most critical aspects in terms of energy consumption, and performance deviations in future situations under the effects of climate change processes.

In order to develop this research, it has been necessary to apply a series of methods which combine descriptive, analytical, observational and experimental procedures, in order to find an answer to a complex, wide-ranging problem, namely the

En la caracterización del parque de edificios de vivienda del periodo, se han realizado las siguientes apartados:

Proceso de toma de datos

Para el desarrollo de la investigación, se he llevado a cabo una exhaustiva toma de datos, procediéndose a identificar las actuaciones de vivienda social realizadas durante este periodo temporal. El proceso de investigación ha obligado a realizar una revisión exhaustiva de las fuentes documentales existentes, presentes en diferentes archivos históricos y archivos de las administraciones públicas, así como de consultoras técnicas colaboradoras, tanto a nivel nacional, como regional y local. Esto se ha completado con el análisis de informaciones, y aportaciones de documentación provenientes de prensa escrita, así como de publicaciones periódicas del periodo de estudio. Junto con este levantamiento documental, se ha realizado una extensa revisión bibliográfica de diferentes autores y grupos de investigación que han tratado el problema de la vivienda en Sevilla, su urbanismo y relación con la, así como su análisis arquitectónico.

Posteriormente a este trabajo consultivo y analítico, se ha realizado un trabajo de campo para la inspección in situ de los diferentes edificios, mediante una toma de datos de contraste de lo planificado o proyectado con la realidad construida, analizando la evolución y transformaciones sufridas desde la ejecución de las viviendas hasta la actualidad.

Este trabajo de recolección de información y documentación ha generado una base de datos que aglutina tanto datos históricos como descriptivos: geométricos y técnicos, en base numérica y gráfica. En muchos de los casos esta información ha sido completada con levantamientos planimétricos de los edificios y reconocimiento de sus sistemas constructivos.

Valoración de los grupos muestrales

La catalogación tipológica y morfológica se ha realizado mediante una muestra dividida en tres grupos de análisis que, por su tamaño y selección, se ha considerado suficientemente representativa:

relationship between residential buildings and their energy performance. In short, the methodology takes shape in the development of the following stages.

The following have been carried out in the characterisation of the housing stock of the period:

Data collection process

In developing the research, exhaustive data collection was carried out, followed by identification of the social housing interventions during this time period. The research process brought with it the need to carry out an exhaustive review of existing documentation sources in national, regional and local archives and files of public administrations and collaborating technical consultants. This was rounded off with analysis of information and documentation from the written press and from regular publications of the study period. Moreover, an extensive biographical review of different authors and research groups who have addressed the problem of housing and urban growth in Seville and their relationship with the city has been carried out, along with architectural analysis.

Following this process of consultation and analysis, fieldwork was carried out to inspect the buildings on site, collecting data which could be used to compare construction plans to the existing reality, and analysing the evolution and transformations experienced from their construction through to the present day.

This work of collecting information and documentation has generated a database which comprises historical and descriptive data: geometric and technical, both numerical and graphical. In many cases this information has been supplemented with planimetric surveys of buildings and recognition of their construction systems.

Assessment of the sample groups

Typological and morphological cataloguing has been carried out through a sample divided into three groups of analysis which, given their size and selection, can be considered sufficiently representative:

- **Grupo de estudio 0:** Representa fundamentalmente a la población global de actuaciones de bloques de vivienda social realizadas en el periodo de estudio, identificándose 99.437 viviendas.
- **Grupo de estudio I:** Establece la caracterización fundamental de sistemas constructivos, y parámetros generales de su calidad energética, fundamentalmente valores de las características energéticas de su envolvente. Se han seleccionado 83 actuaciones que suman 46.476 viviendas.
- **Grupo de estudio II:** Sirve para la descripción en detalle de la envolvente. Está constituido por 14 actuaciones que representan una selección del parque general.

Los objetivos del análisis se dirigen al establecimiento de distribuciones y patrones que permitan clasificar las actuaciones por periodos temporales de construcción, atendiendo a sus principales magnitudes y parámetros que las caracterizan, así como a sus sistemas constructivos, y buscando asociaciones entre su comportamiento energético y la distribución temporal.

Procedimiento de caracterización del parque.

Se han establecido, de forma pormenorizada, los procedimientos para la creación de una catalogación taxonómica. Se han utilizado tanto criterios de pertenencia como propiamente de catalogación, basados en los tipos y morfologías de las envolventes, los sistemas constructivos y la caracterización energética. Estos criterios se han aplicado para la formación de grupos edificatorios y para establecer relaciones con las distribuciones temporales de las soluciones de los cerramientos. Como aspecto complementario de especial interés, asociado al comportamiento energético, se ha realizado una evaluación de los riesgos de generación de procesos patológicos ambientales, como es la formación de humedades de condensación, identificando factores probabilísticos de detección asociados a la catalogación.

Como resultado de la aplicación de estos procedimientos, a partir de las distribuciones estadísticas, de los distintos pesos de las soluciones de envolventes y de las características morfológicas de los edificios, es posible obtener una matriz de clasificación

– **Study Group 0:** This basically represents the overall number of social housing developments in the period of study, identifying 99,437 properties.

– **Study Group I:** This establishes the fundamental characterisation of the construction systems and the general parameters of their energy quality, most notably the energy characteristic values of their envelopes. A total of 83 housing developments have been selected, totalling 46,476 properties.

– **Study Group II:** This provides a detailed description of the envelope. It consists of 14 housing developments, representing a selection of the overall housing stock.

The aim of the analysis is to establish distributions and patterns which can be used to classify the developments by construction time period, in line with their main magnitudes, characteristic parameters and construction systems, whilst striving to find associations between their energy performance and the time distribution.

Housing stock characterisation procedure

The procedures for taxonomic cataloguing have been established in detail, using both domain and cataloguing criteria, based on type and morphology of envelope, construction system and energy characterisation. These criteria have been applied for the formation of building groups and in order to establish relations with the time distributions of the enclosure solutions. As a complementary aspect of particular interest associated to energy performance, the risks of generating pathological environmental processes, such as the formation of condensation dampness, has been assessed, identifying detection probability factors associated to the cataloguing.

By applying these procedures, based on the statistical distributions, the rating of the enclosure solutions and the morphological characteristics of the buildings, it is possible to obtain a standard building classification matrix and prepare a classification and cataloguing proposal for the housing stock. This can also provide detailed information in order to carry out unique in-depth studies,

de edificios tipo y efectuar una propuesta de clasificación y catalogación de los edificios del parque. Permite asimismo disponer de información pormenorizada para realizar estudios singulares de detalle, así como estudios comparativos entre componentes de los grupos de estudio.

En el desarrollo del análisis de las variables ambientales se han utilizado diferentes enfoques, los cuales podemos resumir en los siguientes puntos:

Monitorización de viviendas

Las viviendas se monitorizan en situación real de ocupación, de tal forma que se recoge la influencia que tiene el comportamiento de los usuarios en las fluctuaciones de los consumos energéticos. Esta monitorización se ha complementado con una serie de encuestas sobre los hábitos de comportamiento de sus inquilinos, para obtener correlaciones entre los consumos energéticos y dichos patrones de comportamiento.

Los datos de caracterización de las variables ambientales de las viviendas objeto de estudio provienen de dos grupos de ellas:

- Grupo de referencia: conjunto de viviendas incluidas en el proyecto EFFICACIA, que son representativas de las viviendas sociales bajo la regulación de la NBE CT-79.
- Grupo de contraste: conjunto de viviendas incluidas en los casos de estudio del Proyecto REFAVIV, que son representativas del periodo 1939-1979.

En ambos grupos se ha desarrollado un proceso de monitorización en un periodo continuo largo, lo que ha permitido obtener valores de más de un año de duración de múltiples variables ambientales, destacando entre ellas las medidas de temperatura del aire interior. Esta información ha permitido generar un modelo de comportamiento para su aplicación en resto de las viviendas.

Modelización del comportamiento energético

Aplicando técnicas de análisis estadístico, se realiza una caracterización del comportamiento de cada grupo de viviendas, identificando sus distintas evoluciones y presencia de patrones. Mediante el ajuste de datos no censurados, se generan los

and to compare the components of the study groups.

Different approaches have been used in developing the analysis of the environmental variables, which can be summarised in the following points:

Monitoring of housing

The monitoring is carried out while the housing is occupied, allowing us to consider the influence which inhabitants' behaviour has on variations in energy consumption. This monitoring has been completed with a series of surveys on the behavioural habits of tenants, in order to obtain correlations between energy consumption and their patterns of behaviour.

The environmental variable characterisation data for the properties in this study come from two groups:

- Reference group: series of properties included in the EFFICACIA project, which are representative of social housing in accordance with the NBE CT-79 regulation.
- Contrast group: series of properties included in the REFAVIV Project case studies, which are representative of period 1939-1979.

A monitoring process has been carried out in both groups over a long, continuous period of time, in order to obtain values of over one year of duration of multiple environmental variables, most notably the indoor air temperature readings. This information has been used to generate a behaviour model for application in the rest of the properties.

Modelling of energy performance

The behaviour of each group of properties is characterised by applying statistical analysis techniques, identifying their different evolutions and the existence of patterns. Different probabilistic models of temperature distribution are generated by adjusting non-censored data. The model groups generated are:

diferentes modelos probabilísticos de distribución de temperatura. Los grupos de modelos generados son:

- En el grupo de referencia, modelos de invierno y verano, dividiendo estos últimos entre viviendas refrigeradas, no refrigeradas y periodos en libre evolución.
- En el grupo de contraste, modelos de invierno y verano, siendo estos últimos exclusivamente de libre evolución, al no disponer ninguna de las viviendas del grupo de sistemas de refrigeración.

Modelo climático

Se ha realizado un estudio de la evolución climatológica reciente, tomando como punto de partida el periodo de construcción de las viviendas del parque, para conocer las modificaciones sufridas del clima hasta el periodo actual, estableciendo una particularización sobre la ciudad de Sevilla. Se ha efectuado una revisión de los modelos de predicción de cambio y evolución climáticos, aplicando una regionalización desde modelos generales.

Se ha realizado un análisis de las transformaciones sufridas en los indicadores de uso de la energía, eligiendo como parámetro los grados-día (tanto de calefacción como de refrigeración), para identificar la influencia de las modificaciones climáticas en el uso general de la energía de calefacción y refrigeración, tanto en el pasado reciente como en un futuro próximo. El aspecto quizás de mayor interés es la construcción de un modelo climático de proyección futura para simulación del comportamiento de los edificios, aplicando el procedimiento de "morphing" para el año 2050 (bajo escenarios Had.CM3).

En el último bloque de análisis, la generación de modelos energéticos, la metodología se ha desarrollado mediante los pasos:

Experimentos basados en la evaluación de escenarios.

Sobre la muestra de estudio seleccionada a través del análisis del parque, se han generado modelos virtuales de edificios que pretenden recrear sus características fundamentales: geométricas, morfológicas y tipológicas, sistemas constructivos, entorno urbano y condiciones operacionales. Para poder evaluar el comportamiento térmico y de demanda de energía de los edificios, es preciso el uso de herramientas de

- In the reference group, winter and summer models, dividing the latter into cooled, non-cooled and periods in free evolution.
- In the contrast group, winter and summer models, in which the latter are exclusively of free evolution, since none of the properties of the group have cooling systems.

Climate model

A study of recent climate changes has been carried out, starting from the period in which the housing stock was built. This study allows us to see the changes the climate has undergone through to the present day, in particular in the specific case of Seville. The models for predicting climate change and evolution have been reviewed, applying a regionalisation from general models.

The changes which have taken place in the energy use indicators have been analysed, choosing degrees-day as the parameter (both for heating and cooling), in order to identify the influence of climate change on the general use of heating and cooling energy in the recent past and also in the near future. The aspect which is possibly of most interest is the construction of a future projection climate model to simulate the performance of the buildings, applying the morphing procedure for the year 2050 (under Had.CM3 scenarios)

In the final analysis block –the generation of energy models–, the methodology has been developed through the following steps:

Experiments based on the assessment of scenarios

Virtual building models have been generated on the study sample selected through analysis of the housing stock, in order to recreate their fundamental characteristics: geometric, morphological and typological, construction systems, urban environment and operational conditions. In order to assess the thermal performance and demand for energy of the buildings, it is necessary to use energy simulation tools which can generate synthetic and dynamic models which are sufficiently accurate and which include the urban conditions.

simulación energética que permita la generación de modelos sintéticos y dinámicos de los mismos con suficiente aproximación, y que incluyan sus condiciones de contorno urbano. Para ello se ha elegido la herramienta de modelización energética EnergyPlus a través del paquete de análisis energético DesignBuilder.

Construcción de los modelos energéticos.

La construcción y definición del modelado de los edificios, para su posterior simulación, se ha realizado bajo las directrices de la metodología detallada en la norma ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013. Para el establecimiento de los protocolos operacionales se han adoptado como punto de partida los establecidos por los procedimientos oficiales nacionales, sobre los que se han realizado ajustes posteriores.

La definición de los parámetros ambientales de los modelos se ha basado en los datos obtenidos en los análisis previos. Para el establecimiento de las condiciones interiores de las viviendas se han utilizado los modelos probabilísticos de temperaturas obtenidos de la monitorización. Para los del ambiente exterior se utilizan dos conjuntos de datos: los datos climáticos del periodo temporal actual, en concreto los del año meteorológico tipo de Sevilla definido por la metodología SWEC (Spanish Weather for Energy Calculations); y los datos climáticos de un periodo futuro próximo mediante, en concreto los del año sintético obtenido del modelo de cambio climático.

Para comprobar la validez de los modelos energéticos de los edificios, se ha desarrollado un procedimiento de calibración mediante contraste con un modelo real. El proceso de ajuste y calibración se ha realizado conforme a las especificaciones de la Directriz ASHRAE 14-2002.

Diseño del experimento de simulación.

Mediante la aplicación de las técnicas de simulación, se han identificado y cuantificado los potenciales de mejora de la demanda energética en los edificios de tipologías y sistemas constructivos convencionales, según sus definiciones actuales, para posteriormente contrastarlas con las capacidades de modificación de la demanda energéticas asociadas a procesos de intervención energética. Para la evaluación de los potenciales energéticos más cercanos a los habitualmente encontrados en los casos reales, se introducen modificaciones en las condiciones de

The energy modelling tool EnergyPlus was chosen for this purpose, through the energy analysis package DesignBuilder.

Constructing the energy models

The construction and definition of the modelling of the buildings for subsequent simulation has been carried out under the methodology directives detailed in ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013. The operational protocols have been established based on those set out in official national procedures, which were subsequently adjusted.

The definition of the environmental parameters of the models has been based on the data obtained in the prior analyses. The probabilistic models of temperatures obtained in the monitoring have been used to establish the indoor conditions. Two sets of data are used for the exterior environment: current time period climate data, specifically those for a typical Seville meteorological year defined by the SWEC (Spanish Weather for Energy Calculations) methodology, and the future time period climate data, specifically those of the synthetic year obtained from the climate change model.

A calibration procedure through contrast with an actual model has been developed to check the validity of the energy models of the buildings. The adjustment and calibration process has been carried out in line with the specifications of Directive ASHRAE 14-2002.

Design of the simulation experiment.

Simulation techniques have been applied to identify and quantify the potential for improving energy demand in buildings of conventional typologies and construction systems, in accordance with current definitions, in order to subsequently contrast them to the energy demand modification capabilities associated to energy intervention processes. Modifications are introduced in the interior environment conditions, along with other operational aspects, in order to assess the energy potential in keeping with the potential commonly found in actual cases. A series of performance simulations of the study group under the climate change

contorno del ambiente interior, así como en otros aspectos operacionales. En un tercer paquete, se realiza un conjunto de simulaciones del comportamiento del grupo de estudio bajo las condiciones de cambio climático en el momento temporal de 2050.

Recogiendo los resultados de los bloques de análisis, se establece el quinto y último bloque se exponen las conclusiones generales y las parciales más significativas: cuáles son los indicadores y parámetros que caracterizan a la envolvente presentan una mayor responsabilidad sobre el comportamiento energético; las capacidades y potenciales previsible, tanto en la situación actual como en el periodo futuro, y su relación con el tipo de grupo edificatorio; se realiza una reflexión sobre la composición del parque edificado, su configuración, sus fortalezas y debilidades.

Como apartado final se enumeran las futuras líneas de investigación y se proponen experimentos posteriores que pueden completar este trabajo, así como las posibles aportaciones futuras de esos nuevos enfoques.

El segundo Volumen, o cuerpo complementario, está constituido por información que, aunque organizada de forma separada para una mejor comprensión del texto de la tesis, constituye parte sustancial del trabajo. Recoge resultados detallados, tanto de los procedimientos y métodos propuestos como de los experimentos realizados. Se ha generado una catalogación edificatoria del parque existente, junto una base de información de detalle de los edificios que lo componen. Se incorpora el conjunto de modelos de desempeño energético de los edificios representativos del periodo, bajo los diferentes escenarios de evaluación

conditions envisaged for 2050 is also detailed.

Setting out the results of the analyses, the fifth and final section outlines the main conclusions reached and the most significant partial conclusions: those indicators and parameters which characterise the envelope which have most influence on energy performance, envisaged capabilities and potential, both currently and in the future, and their relation to the type of building group. There is also a reflection on the composition of the constructions: their configuration, strengths and weaknesses.

The final section details future lines of research and proposes subsequent experiments which could round off this work, along with the possible implementation in the future of these new approaches.

The second volume, or complementary corpus, is made up of information which, although organised separately for better understanding of the text of the thesis, constitutes a substantial part of the work. It sets out detailed results, both of the proposed methods and procedures and also of the experiments carried out. A building catalogue has been generated for the existing housing stock, along with a body of detailed information on the buildings it comprises. A series of energy performance models of the buildings most representative of the period has been included, under the different assessment scenarios.

Queda sustituido por la referencia bibliográfica:

Samuel Domínguez-Amarillo, Juan José Sendra, Jessica Fernández-Agüera, Rocío Escandón. Vivienda social, construcción y ciudad: Sevilla de la posguerra al desarrollismo. Editorial Universidad de Sevilla, Sevilla