

**GENERACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN
ENERGÉTICA A ESCALA URBANA PARA LA
REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PARQUE
RESIDENCIAL DE CIUDADES MEDITERRÁNEAS
APLICACIÓN A LA PROVINCIA DE CÁDIZ**

Mónica Martínez Hervás

TESIS DOCTORAL Sevilla 2018

Dirigida por: **Juan José Sendra Salas y Rafael Suárez Medina**



u **eidus**

Escuela Internacional de Doctorado

doctorado en arquitectura

escuela técnica superior de arquitectura

instituto universitario de arquitectura y
ciencias de la construcción

**GENERACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN
ENERGÉTICA A ESCALA URBANA PARA LA
REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PARQUE
RESIDENCIAL DE CIUDADES MEDITERRÁNEAS
APLICACIÓN A LA PROVINCIA DE CÁDIZ**

Mónica Martínez Hervás

TESIS DOCTORAL Sevilla 2018

Dirigida por: **Juan José Sendra Salas y Rafael Suárez Medina**

Generación de un modelo de evaluación energética a escala urbana para la rehabilitación sostenible del parque residencial de ciudades mediterráneas. Aplicación a la provincia de Cádiz por Mónica Martínez Hervás. Sevilla, 2018.

Ilustración en portada: Playa de la Victoria de Cádiz (Patronato Provincial de Turismo de Cádiz).

Tesis doctoral elaborada en el seno del grupo PAIDI TEP-130:Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía, adscrito al Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC) de la Universidad de Sevilla.



A mis padres, por permitirme soñar

A Juan, por soñar juntos

AGRADECIMIENTOS

La realización de esta tesis doctoral no hubiera sido posible sin el apoyo y ayuda de muchas personas a las que les quiero mostrar mi gratitud en estas pocas líneas que no son nada en comparación con lo que les debo.

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento y admiración a mis directores, Juan José Sendra y Rafael Suárez. Gracias por haberme guiado durante estos intensos últimos años. Gracias por vuestra dedicación, orientación, motivación, esfuerzo y compromiso, ya que sin vosotros no hubiera sido posible desarrollar esta tesis doctoral.

A Rocío y Teresa, compañeras de andadura en el arduo camino del doctorado, por compartir conmigo dificultades y alegrías, ayudando y animándome en todo momento.

A todos los compañeros del grupo de investigación TEP-I30, por acogerme desde el primer día, hacer que me sienta como una más y mostrarme vuestra sincera disposición.

A mis amigos Laura, Joaquín y Selene, por permitirme dedicarles menos tiempo debido a esta tesis doctoral. Gracias por estar siempre ahí, en los buenos y los malos momentos.

Por último, pero siempre los primeros, a mi familia. En especial a mis padres, por todo su esfuerzo y sacrificio para darme todo lo que ellos quisieron y no tuvieron. Gracias por transmitirme esa actitud de lucha que tanto os caracteriza. Gracias por vuestro apoyo a lo largo de toda mi vida y por creer siempre en mí.

A mis hermanos, Pilar y Javi, por cuidarme y protegerme siempre como la más pequeña de la casa. Gracias por hacerme sentir importante. A mi pequeña sobrina Ingrid, por permitir evadirme un poco en la recta final de esta tesis doctoral.

Y a Juan, por todo lo que significa para mí. Gracias por estar siempre a mi lado, por disfrutar conmigo de los buenos momentos y cuidarme en los malos. Gracias por esos empujoncitos que me das con las cosas que más me cuestan. Y gracias por dejarme compartir contigo hasta la última coma de esta tesis doctoral.

RESUMEN

Dentro de las estrategias del Horizonte 2020, la Directiva 2012/27/EU tiene como objetivo fundamental establecer un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética, adquiriendo una especial importancia la adaptación del parque edificatorio a las actuales exigencias de bienestar e higiene, y de eficiencia energética, a las cuales se podrían llegar a través de un proceso de rehabilitación energética.

La necesaria rehabilitación del parque residencial se centra especialmente en las barriadas sociales construidas antes de la primera normativa española que limitaba la demanda energética en los edificios, la NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en los Edificios, en el periodo comprendido entre 1951 y 1980, tres décadas en las que se produjo un notable crecimiento urbano en las grandes ciudades de España. Las viviendas construidas en este periodo suponen un 41% del parque residencial actual. En consecuencia, este parque residencial fue construido en un periodo prenормativo, sin ninguna exigencia higrotérmica, presentando actualmente unas condiciones de frecuente deterioro de las condiciones ambientales interiores, cuando no de obsolescencia, con grandes pérdidas energéticas y baja calificación energética. Esto provoca que, para poder alcanzar las actuales condiciones operacionales que la normativa establece para viviendas, resulte necesario un elevado consumo energético.

En este contexto, numerosos estudios e investigaciones se han centrado en la evaluación energética de este importante parque residencial en zonas climáticas del centro y norte de Europa, sobre todo enfocados en una escala de bloque o de vivienda. Menos abundantes son las investigaciones realizadas, aunque sea con este mismo nivel de aproximación, en las áreas meridionales de la Europa mediterránea, con características socio-culturales y climáticas que las diferencian de las otras zonas europeas. Pero la novedad principal de esta tesis doctoral está en que la evaluación energética del parque residencial se realiza a una escala urbana y, como consecuencia de ello, se proponen modelos predictivos del comportamiento energético de ese parque residencial a esa escala.

Esta tesis doctoral plantea dos aportaciones principales: una primera consistente en ofrecer una nueva metodología para la evaluación energética del parque residencial que permita generar modelos predictivos, a escala urbana, del comportamiento energético del parque residencial en ciudades mediterráneas, de modo que estos modelos puedan ser fácilmente aplicados en planes de rehabilitación sostenible de dichas ciudades; y una segunda que verifique que, siguiendo esta propuesta metodológica, es posible generar un sencillo modelo predictivo para la evaluación energética del parque de viviendas sociales plurifamiliares construido entre 1951 y 1980 de las ciudades más relevantes de la provincia de Cádiz situadas todas ellas en zona climática A3.

ÍNDICE

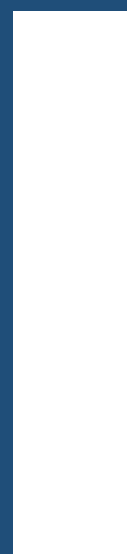
1. INTRODUCCIÓN.	13
2. DEFINICIÓN DE ALCANCE Y OBJETIVOS.	19
2.1. Objetivos generales.	22
2.2. Objetivos específicos.	23
3. ESTADO DEL ARTE.	25
3.1. Antecedentes.	28
3.2. Eficiencia energética del parque residencial existente.	31
3.2.1. Evolución de la normativa energética nacional durante el periodo de estudio.	31
3.2.2. Descripción del marco normativo actual en materia de eficiencia energética.	34
3.2.3. Vivienda social de la provincia de Cádiz.	35
3.2.4. Evaluación energética del estado actual del parque residencial.	36
3.2.5. Modelos predictivos de evaluación energética a escala urbana.	40
4. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA.	43
4.1. Fase I: Identificación, definición y análisis de las promociones de vivienda social y asociación a un Sistema de Información geográfica.	47
4.2. Fase II: Evaluación energética de las promociones de vivienda social y asociación de resultados a un Sistema de Información Geográfica.	50
4.3. Fase III: Generación de un modelo de evaluación energética de ciudades mediterráneas a escala urbana.	51
4.4. Fase IV: Aplicación del modelo de evaluación energética a las promociones de vivienda social y asociación de sus resultados a un Sistema de Información Geográfica.	53
5. CASO DE ESTUDIO.	55
5.1. Núcleos urbanos objetos de estudio.	59
5.2. Marco histórico y urbanístico.	63
5.2.1. Algeciras.	63
5.2.2. Cádiz.	65
5.2.3. La Línea de la Concepción.	68
5.2.4. El Puerto de Santa María.	71
5.2.5. San Fernando.	73

6. IDENTIFICACIÓN, DEFINICIÓN Y ANÁLISIS DE LAS PROMOCIONES DE VIVIENDA SOCIAL.....	77
6.1. Identificación de promociones de vivienda social.	81
6.2. Definición de promociones de vivienda social.	90
6.2.1. Definición de promociones de vivienda social con un nivel de detalle 1.	90
6.2.2. Definición de promociones de vivienda social con un nivel de detalle 2.	94
6.3. Sistema de Información Geográfica de identificación y definición de promociones de vivienda social.	101
6.3.1. Definición del Sistema de Información Geográfica.	101
6.3.2. Construcción del Sistema de Información Geográfica.	108
6.3.3. Visualización del Sistema de Información Geográfica.	109
6.4. Análisis de la configuración arquitectónica de las promociones de vivienda social.	112
6.4.1. Análisis de la configuración arquitectónica con un nivel de detalle 1.	112
6.4.2. Análisis de la configuración arquitectónica con un nivel de detalle 2.	119
6.4.3. Sistema de Información Geográfica de análisis de la configuración arquitectónica de las promociones de vivienda social.	128
6.4.3.1. Definición del Sistema de Información Geográfica.	129
6.4.3.2. Construcción del Sistema de Información Geográfica.	131
6.4.3.3. Visualización del Sistema de Información Geográfica.	132
6.5. Análisis de los sistemas constructivos empleados en las promociones de vivienda social.	136
6.5.1. Sistema de Información Geográfica de análisis de los sistemas constructivos empleados.	152
6.5.1.1. Definición del Sistema de Información Geográfica.	152
6.5.1.2. Construcción del Sistema de Información Geográfica.	155
6.5.1.3. Visualización del Sistema de Información Geográfica.	156
7. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE LAS PROMOCIONES DE VIVIENDA SOCIAL.....	161
7.1. Definición de los modelos energéticos.	164
7.1.1. Localización y datos climáticos.	164
7.1.2. Condiciones de uso y operacionales.	167
7.1.3. Caracterización de la envolvente térmica y sistemas constructivos.	168
7.1.4. Sistemas de acondicionamiento térmico e instalación ACS.	169
7.2. Construcción de los modelos energéticos.	171
7.2.1. Estudios previos a las simulaciones.	171

7.3. Resultados de la evaluación energética de las promociones de vivienda social.	177
7.3.1. Sistema de Información Geográfica de evaluación energética.	177
7.3.1.1. Definición del Sistema de Información Geográfica.	177
7.3.1.2. Construcción del Sistema de Información Geográfica.	179
7.3.1.3. Visualización del Sistema de Información Geográfica.	179
7.4. Análisis de la evaluación energética de las promociones de vivienda social.	182
8. MODELO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE CIUDADES MEDITERRÁNEAS A ESCALA URBANA.	191
8.1. Datos de entrada.	195
8.1.1. Datos cuantitativos.	195
8.1.2. Datos categóricos.	196
8.2. Arquetipos del modelo de evaluación energética.	202
8.2.1. Propuesta de arquetipos 1: según la tipología edificatoria, posición de bloque y orientación predominante.	204
8.2.2. Propuesta de arquetipos 2: según la tipología edificatoria y posición de bloque.	206
8.3. Generación del modelo de evaluación energética.	207
8.3.1. Modelo de evaluación energética para la propuesta de arquetipos 1.	208
8.3.2. Modelo de evaluación energética para la propuesta de arquetipos 2.	210
8.3.3. Elección del modelo de evaluación energética.	211
8.4. Validación del modelo de evaluación energética.	213
8.4.1. Información complementaria del modelo.	213
8.4.2. Análisis de los residuos.	214
8.4.3. Supuestos del modelo.	215
8.4.3.1. Independencia.	215
8.4.3.2. Normalidad.	217
8.4.3.3. Homocedasticidad.	219
8.5. Cálculo de parámetros de evaluación energética.	222
8.5.1. Demanda de calefacción.	222
8.5.2. Demanda de refrigeración.	223
8.5.3. Demanda de ACS.	223
8.5.4. Emisiones de CO ₂ asociadas al servicio de calefacción.	226
8.5.5. Emisiones de CO ₂ asociadas al servicio de refrigeración.	228
8.5.6. Emisiones de CO ₂ asociadas al servicio de ACS.	229
8.5.7. Emisiones globales de CO ₂ .	231
8.6. Definición del modelo de evaluación energética.	233

9. APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE CIUDADES MEDITERRÁNEAS A ESCALA URBANA.....	235
9.1. Sistema de Información Geográfica de aplicación del modelo de evaluación energética.....	238
9.1.1. Definición del Sistema de Información Geográfica.....	238
9.1.2. Construcción del Sistema de Información Geográfica.....	240
9.1.3. Visualización del Sistema de Información Geográfica.....	240
9.2. Análisis de resultados tras la aplicación del modelo de evaluación energética.....	252
10. CONCLUSIONES.....	257
Epílogo.....	267
Bibliografía.....	271
Listado de figuras y tablas.....	285
Anexo I. Plataforma digital de Sistemas de Información Geográfica.....	305
Anexo II. Regímenes de las viviendas sociales (1950-1980).....	313
Anexo III. Publicaciones derivadas de la tesis doctoral.....	319

INTRODUCCIÓN



La estrategia del Horizonte 2020 para la edificación plantea como objetivos la reducción del consumo energético del 20%, la reducción de emisiones de CO₂ del 20% y la introducción de energías renovables en un 20%, todo ello respecto a las cifras de 1990. Las emisiones de CO₂ relacionadas con la construcción son un factor clave para poder alcanzar los objetivos propuestos. Se estima que el parque edificatorio actual es el responsable del 40% de la energía total que se utiliza en la Unión Europea y de la tercera parte de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Dentro de las estrategias del Horizonte 2020, la Directiva 2012/27/EU¹ tiene como objetivo fundamental establecer un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética, obligando en su artículo 4 a establecer políticas y estrategias a largo plazo para la renovación y mejora del rendimiento energético del parque inmobiliario. Productos de esta normativa son, entre otros, la Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas² y el CTE-DB HE 2013³.

En este contexto legislativo, adquiere una especial importancia la adaptación del parque edificatorio a las actuales exigencias de bienestar e higiene, por un lado, y de eficiencia energética, por otro, a las cuales se podrían llegar a través de un proceso de rehabilitación energética. Una de las vías de desarrollo de este tipo de proceso es el empleo de programas integrales de rehabilitación energética. De hecho, en la Comunidad Autónoma Andaluza en 2015 se aprueba el Plan Integral de Fomento para el Sector de la Construcción y Rehabilitación Sostenible de Andalucía⁴, que propone la rehabilitación energética de 94.700 viviendas para el año 2020 en Andalucía. Sin embargo, no hay que olvidar que, aunque las regulaciones sobre política energética a nivel internacional y nacional pueden representar

¹ Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 004/8/CE y 2006/32/CE, 2012. Diario Oficial de la Unión Europea L 315, de 14 de noviembre de 2012, pp. 1-56.

² Jefatura del Estado. Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Boletín Oficial del Estado, 27 de junio de 2013, núm. 153, pp. 47964-48023.

³ Ministerio de Fomento. Orden FOM/I635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, 12 de septiembre de 2013, núm. 219, pp. 67137-67209. Y actualización según Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía" y el Documento Básico DB-HS "Salubridad", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 149, de 23 de junio de 2017, pág. 51621-51626.

⁴ Junta de Andalucía. (2015). *Plan Integral de Fomento para el Sector de la Construcción y Rehabilitación Sostenible de Andalucía*.

I. INTRODUCCIÓN

un cambio positivo en el sector de la edificación en los próximos años, la implementación inmediata de medidas de mejora energética debe ocurrir principalmente a nivel municipal y de barrio, si queremos que produzcan efectos realmente beneficiosos.

La necesaria rehabilitación del parque residencial se centra especialmente en las barriadas sociales construidas en el periodo comprendido entre 1951 y 1980, cuando se produjo un notable crecimiento urbano en las grandes ciudades de España, como consecuencia del aumento de la población y de la emigración del campo a la ciudad⁵. El parque residencial de este periodo supone en España un 41% del parque residencial actual, según datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística⁶, mientras que en Andalucía se sitúa en el 39%.

El parque residencial del periodo 1951-1980 es anterior a la primera normativa española que, aprobada en 1979, limitaba la demanda energética en los edificios, y que fue una de las consecuencias de la crisis energética de los años setenta: la NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en los Edificios⁷. Esta normativa dio lugar, por primera vez en nuestro país, a la introducción general de aislamiento térmico en fachadas y cubiertas de los edificios residenciales. Por ello este parque residencial fue construido en un periodo prenормativo, sin ninguna exigencia higrotérmica, presentando actualmente unas condiciones de obsolescencia, con grandes pérdidas energéticas y baja calificación energética. Para poder alcanzar las actuales condiciones operacionales que la normativa establece para viviendas, sería necesario un elevado consumo energético.

Como se expone en el capítulo 3 dedicado al estado del arte, numerosos estudios e investigaciones se han centrado en la evaluación energética de este importante parque residencial, con el fin de poder establecer soluciones de rehabilitación, reducir el consumo de energía y alcanzar los actuales estándares de confort térmico. Gran parte de estas investigaciones se han desarrollado en zonas climáticas del centro y norte de Europa, con un enfoque para una escala de bloque o de vivienda. Son más escasas las investigaciones que tratan la evaluación y rehabilitación energética del parque residencial desde una escala urbana, generando en algunos casos modelos predictivos. Asimismo, se debe considerar que la singularidad socio-cultural y climática de las áreas meridionales del arco mediterráneo conlleva la necesidad de una aproximación específica mediante investigaciones que hasta el momento son insuficientes, sobre todo en cuanto a la generación de modelos predictivos de evaluación energética se refiere.

Por ello, la presente tesis doctoral pretende ampliar las investigaciones actuales, partiendo de la hipótesis de que es posible proponer una nueva metodología que permita generar modelos predictivos a escala urbana que reflejen ajustadamente el comportamiento energético del parque residencial de ciudades mediterráneas, y que puedan ser aplicados para su rehabilitación energética con sencillez y sin emplear grandes recursos.

Las principales aportaciones que pretende hacer esta tesis doctoral son dos, una primera consistente en ofrecer una nueva metodología para la evaluación energética del parque residencial que permita generar modelos predictivos, a escala urbana, del comportamiento energético del parque residencial en ciudades mediterráneas, de modo que estos modelos puedan ser fácilmente aplicados en planes de rehabilitación sostenible de dichas ciudades; y una segunda que verifique que, siguiendo esta propuesta

⁵ Domínguez-Amarillo, S., Sendra, J. J., Oteiza, I. (2015). *La envolvente térmica de la vivienda social. El caso de Sevilla 1939-1979*. Colección Monografías. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. ISBN: 978-84-00-10124-4

⁶ Instituto Nacional de Estadística. URL: <http://www.ine.es/>. Fecha de consulta: 5 de febrero de 2015.

⁷ Real Decreto 2429/1979, de 8 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Boletín Oficial del Estado, 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524-24550.

metodológica, es posible generar un sencillo modelo predictivo para la evaluación energética del parque de viviendas sociales plurifamiliares construido entre 1951 y 1980 de las ciudades más relevantes de la provincia de Cádiz situadas todas ellas en zona climática A3.

Para ello, se identifican, definen y analizan las promociones de vivienda social de los núcleos urbanos más relevantes de la provincia de Cádiz construidas entre 1951 y 1980, atendiendo tanto a su configuración arquitectónica como a los sistemas constructivos empleados en su envolvente térmica, incorporando toda la información recopilada a un Sistema de Información Geográfica (SIG); se evalúan energéticamente las promociones de vivienda social más representativas, asociando nuevamente los resultados obtenidos a un SIG; se realiza una clasificación de los posibles datos de entrada del modelo de evaluación energética y se establecen diferentes arquetipos que representen al parque residencial de las ciudades analizadas; se genera el modelo de evaluación energética a través de la técnica de regresión lineal múltiple, validándose a través del cumplimiento de diversos supuestos estadísticos; y, por último, se aplica el modelo de evaluación energética generado a los bloques de vivienda social de la provincia de Cádiz a través de un SIG, con el fin de obtener una imagen general del estado energético de dicha provincia, como paso previo para la elaboración de un plan de rehabilitación sostenible.

El uso de los Sistemas de Información Geográfica en diferentes etapas de la tesis nos permite poder visualizar y analizar espacialmente toda la información recopilada y generada de las promociones de vivienda social, e incluso poder aplicar de forma rápida y sencilla el modelo de evaluación energética propuesto.

La presente tesis se estructura en diez capítulos y tres anexos. En los cinco primeros capítulos se realiza una introducción donde se justifica la temática, se define el alcance y objetivos de la tesis, se desarrolla una revisión del estado del arte, se describe la metodología empleada y se define el caso de estudio. Los capítulos 6, 7, 8 y 9 se dedican al desarrollo de la metodología descrita, generando un capítulo para cada una de las fases de las que consta: identificación, definición y análisis de las promociones de vivienda social; evaluación energética de las promociones de vivienda social; generación del modelo de evaluación energética de ciudades mediterráneas a escala urbana; y aplicación del modelo de evaluación energética de ciudades mediterráneas a escala urbana. En el último capítulo se recogen las conclusiones finales de la tesis, tras el cual se exponen el epílogo, la bibliografía y el listado de figuras y tablas. Finalmente se incorporan tres anexos: en el primero de ellos se explica la forma de visualizar los diferentes Sistemas de Información Geográfica desarrollados en la tesis a través de una plataforma digital o el DVD adjunto; el segundo anexo recoge una descripción de los diferentes regímenes de las viviendas sociales de la época analizada; y, por último, el tercer anexo reproduce las publicaciones derivadas de la tesis.

Hasta el momento, se han difundido parcialmente los resultados de la presente tesis en dos publicaciones. La primera de ellas consiste en un capítulo del libro titulado *The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods*⁸, publicado por la editorial internacional Bentham Science. Este capítulo es consecuencia de la obtención del premio a una de las seis mejores ponencias presentadas en el II Congreso Internacional y IV Nacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes. En esta publicación se hace una valoración general del comportamiento energético de las promociones de vivienda social construidas en el periodo de estudio en la ciudad de Cádiz. La segunda publicación consiste en un artículo en la revista indexada en SJR (Scimago Journal and Country Rank) *Procedia*

⁸ Martínez-Hervás, M., Sendra, J. J., Suárez, R. (2015). Towards a Sustainable Retrofitting Plan for Social Housing in Mediterranean Europe. En Mercader-Moyano, P. (Eds.), *The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods* (pp. 147-163). Bentham Science. ISBN: 978-1-68108-065-9.

I. INTRODUCCIÓN

*Environmental Sciences*⁹, derivado de la comunicación presentada oralmente en el congreso SBE16 Thessaloniki “International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale”. En esta publicación se difunde una parte de la propuesta metodológica que se realiza en la presente tesis.

⁹ Martínez-Hervás, M., Sendra, J. J., 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

**DEFINICIÓN DEL
ALCANCE Y OBJETIVOS**

2

El objetivo inicial de la presente tesis doctoral es contribuir a la evaluación energética, a escala urbana, del parque residencial existente en las ciudades mediterráneas. Para ello, fundamentalmente se pretende generar un modelo predictivo de evaluación energética a dicha escala, a partir del análisis de un gran número de casos de estudio, utilizando como variables para la entrada de datos en el modelo sólo aquellas fácilmente obtenibles a través del catastro o de recursos que están en internet al alcance de todos. Los resultados de aplicación del modelo se deberían asociar a un Sistema de Información Geográfica.

La aplicación de modelo predictivo debería permitir obtener una evaluación bastante ajustada del comportamiento energético del parque residencial de las ciudades mediterráneas, sin necesidad de emplear importantes recursos económicos, materiales y temporales, lo que puede ser de gran interés a la hora de redactar planes de rehabilitación sostenibles de esas ciudades.

La investigación se centra principalmente en el parque residencial existente de las ciudades de una zona mediterránea del sur de España, concretamente las más relevantes de la provincia de Cádiz. La muestra de estudio de la tesis se limitará a las promociones de vivienda social plurifamiliares construidas entre 1951 y 1980, con una entidad relevante en las ciudades estudiadas. Este periodo abarca las tres décadas anteriores a la entrada en vigor de la primera normativa española que realmente llegó a ser aplicada y que, con un carácter global, limitaba la demanda energética en la edificación, la NBE-CT-79 sobre Condiciones Térmicas en los Edificios¹. Se trata por tanto de un periodo pre-normativo, sin ningún requerimiento energético ni de regulación del confort higrotérmico, en el que se construyeron un gran número de viviendas.

¹ Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Boletín Oficial del Estado, 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524-24550.

2.1. OBJETIVOS GENERALES

Los objetivos generales de esta tesis son:

- OG1:** Proponer una nueva metodología de evaluación energética del parque residencial a escala urbana.
- OG2:** Generar un modelo de evaluación energética para una zona climática representativa de las ciudades mediterráneas, con el fin de que pueda ser aplicado en planes de rehabilitación sostenible, ofreciendo resultados de demanda y calificación energética.
- OG3:** Aplicar el modelo generado al parque de viviendas sociales plurifamiliares de las ciudades más relevantes de la provincia de Cádiz a través de un Sistema de Información Geográfica, con el fin de ofrecer una imagen general del estado energético de dicha provincia.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos definimos:

- OE1:** Identificar, definir y analizar estadísticamente las promociones de vivienda social plurifamiliar de Cádiz construidas entre los años 1951 y 1980, tanto su configuración arquitectónica como los sistemas constructivos empleados en su envolvente térmica, vertiendo toda la información recopilada y generada en un Sistema de Información Geográfica.
- OE2:** Efectuar una valoración general del comportamiento energético en su estado original de las promociones de vivienda social con mayor entidad de la provincia de Cádiz y asociar los resultados de esa valoración a un Sistema de Información Geográfica, con el fin de que puedan ser utilizados por técnicos y gestores de la rehabilitación energética y de la regeneración urbana.
- OE3:** Proponer arquetipos de bloques de viviendas que representen al parque residencial de ciudades mediterráneas y que sirvan de ruta de entrada en el modelo de evaluación energética a generar.
- OE4:** Efectuar una valoración de los resultados energéticos obtenidos de la aplicación del modelo en las promociones de vivienda social de la provincia de Cádiz.

ESTADO DEL ARTE

3

Previamente al desarrollo de la presente tesis, se realiza un estudio del estado del arte referente a la eficiencia energética del parque residencial existente.

Esta tesis ha de ser entendida como una continuación del Trabajo Fin de Máster presentado en el Máster Universitario Ciudad y Arquitectura Sostenibles de la Universidad de Sevilla en el curso 2013/2014, titulado “Evaluación energética de la vivienda social de Cádiz (1940-1980) y potencial de mejora tras su rehabilitación”¹, así como de los resultados de diversos proyectos de investigación en los que ha participado el grupo de investigación TEP-I30: Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación, Óptica y Energía, del Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación (PAIDI).

Además de detallar estos antecedentes, en este capítulo se analizan diferentes normativas y trabajos de investigación sobre eficiencia energética del parque residencial existente, que sirven de referencia para la presente tesis y que, en síntesis, se centran en:

- La evolución de la normativa energética nacional durante el periodo de estudio (1951-1980).
- La descripción del marco normativo actual en materia de eficiencia energética.
- El análisis de diversa bibliografía relativa a la vivienda social de la provincia de Cádiz.
- La revisión de recientes investigaciones referentes a la evaluación energética del estado actual del parque residencial y a modelos predictivos de evaluación energética a escala urbana.

¹ Martínez-Hervás, M. (2014). *Evaluación energética de la vivienda social en Cádiz (1940-1980) y potencial de mejora tras su rehabilitación*. Universidad de Sevilla, Sevilla.

3.1. ANTECEDENTES

El principal antecedente de la presente tesis, ya que es una continuación de él, es el Trabajo Fin de Máster “Evaluación energética de la vivienda social de Cádiz (1940-1980) y potencial de mejora tras su rehabilitación”, que fue presentado en el Máster Universitario Ciudad y Arquitectura Sostenibles de la Universidad de Sevilla durante el curso académico 2013/2014. El citado TFM tenía como objetivo evaluar energéticamente las barriadas de vivienda social de la ciudad de Cádiz construidas en el periodo de 1940-1980, para ofrecer una imagen general del estado energético de la ciudad y, posteriormente, establecer el potencial de mejora en la calificación energética y en la reducción de la demanda energética que supondría la aplicación de un plan integral de rehabilitación sostenible a estas barriadas residenciales, que incluyera soluciones de rehabilitación de sus envolventes.

La investigación desarrollada en la presente tesis se realiza en el seno del grupo de investigación TEP-130 del PAIDI, dentro de su línea de investigación “Sostenibilidad y Eficiencia energética”, grupo al que pertenece la autora de esta tesis, al igual que su tutor y los directores de la misma.

Además del TFM que precede a la presente tesis, se cuenta como antecedentes con varios Proyectos de Investigación realizados en los últimos diez años por el citado grupo de investigación, entre los cuales destacamos tres proyectos cuyos acrónimos son: EFFICACIA, REFAVIV y MBP, todos ellos ya concluidos.

El proyecto I+D+i EFFICACIA: “Reducción del consumo energético y del impacto ambiental en la construcción de viviendas protegidas en Andalucía” (ref. 07161DIA), promovido y financiado por la Empresa Municipal de la Vivienda de Sevilla (EMVISESA) y la empresa promotora y constructora SODINUR S.L., y subvencionado por la Corporación Tecnológica de Andalucía (Consejería de Economía, Innovación y Ciencia, Junta de Andalucía), se desarrolló entre los años 2007 y 2009, y supone un antecedente metodológico para la presente investigación. El objetivo de este proyecto de investigación era conocer la demanda y consumo energético de los edificios de viviendas protegidas de Andalucía, con la intención de buscar fórmulas para la reducción de la demanda energética con aplicación de diferentes criterios compositivos y constructivos, y el aumento de la eficiencia energética con criterios de diseño y selección de sistemas de instalaciones.

Este proyecto de investigación revela la importancia de la incorporación de criterios de eficiencia energética en la fase de diseño arquitectónico y, en consecuencia, en la búsqueda de una construcción sostenible. Además, amplía el campo de aplicación de los resultados obtenidos, dirigiendo su atención al diseño de estrategias que sean aplicables a intervenciones de rehabilitación en edificios existentes^{2, 3, 4, 5, 6}.

² Sendra, J. J., Domínguez, S., León, A. L., et al. (2011). *Proyecto Efficacia. Optimización energética en la vivienda colectiva*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Emvisesa y Sodinur, Sevilla. ISBN: 978-8-44721-376-4.

³ León, A. L., Muñoz, S., León, J. y Bustamante, P. (2010). Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. *Informes de la Construcción*, 62, 519, 67-82. DOI: 10.3989/ic.09.045.

⁴ Domínguez, S., Sendra, J. J., León, A. L. y Esquivias, P. (2012). Towards energy demand reduction in social housing buildings: Envelope system optimization strategies. *Energies*, 5, 7, 2263-2287. DOI: 10.3390/en5072263.

⁵ León, A. L., Domínguez, S., Campano, M. A. y Ramírez-Balas, C. (2012). Reducing the energy demand of multi-dwelling units in Mediterranean climate using solar protection elements. *Energies*, 5, 9, 3398-3424. DOI: 10.3390/en5093398.

⁶ Sendra, J. J., Domínguez, S., Bustamante, P., León, A. L. (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.

Dentro del campo de la evaluación y rehabilitación energética de edificios existentes, encontramos el proyecto del Plan Nacional I+D+i REFAVIV: “Rehabilitación energética de las fachadas de las viviendas sociales deterioradas en Madrid y Sevilla, aplicando productos innovadores nacionales y europeos (DIT y DITE)” (ref. BIA2012-39020-C02-01), desarrollado junto al Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción (CSIC) y un equipo de investigación de la Universidad Politécnica de Madrid. Este proyecto fue financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, y su periodo de desarrollo fue desde enero de 2013 hasta diciembre de 2015.

El proyecto REFAVIV analiza las viviendas sociales de Sevilla y Madrid construidas entre los años 1940 y 1980, suponiendo la elección de estas dos ciudades el estudio del problema en dos zonas climáticas diferentes. El objetivo principal de este proyecto era el establecimiento de estrategias para la rehabilitación energética de las fachadas. Se evalúan los sistemas constructivos empleados, atendiendo a sus características técnicas y energéticas, para posteriormente establecer soluciones energéticas para cada uno de ellos. Se pretendió reducir la demanda energética de las viviendas estudiadas a través del empleo de materiales y sistemas constructivos innovadores en la envolvente, además de fomentar soluciones constructivas eficientes de coste sostenible^{7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14}.

El proyecto I+D+i de la Consejería de Fomento y Vivienda de la Junta de Andalucía MBP: “Intervención en barriadas residenciales obsoletas: Manual de Buenas Prácticas” (ref. G-GI3001/IDIH), estuvo financiado por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía, con Fondos Feder, y su periodo de desarrollo fue desde noviembre de 2013 hasta junio de 2015. Este proyecto fue desarrollado junto con el grupo HUM-666: “Ciudad, Arquitectura y Patrimonio Contemporáneos” del PAIDI.

Este proyecto tenía, entre otros objetivos, desarrollar un Manual de Buenas Prácticas como una herramienta operativa que sirviera como referente a la hora de actuar en barriadas residenciales en obsolescencia construidas en la segunda mitad del siglo XX en Andalucía. En este proyecto se trata la problemática de la obsolescencia atendiendo a cuestiones arquitectónicas, urbanísticas y sociales. Se

⁷ Oteiza, I., Alonso, C., Martín Consuegra, F., Monjo, J., González Moya, M. (2015). Energy retrofitting for social housing by improving the building envelope: Madrid, 1939-1979. En *The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods* (pp. 3-32). Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla, España. ISBN: 978-1-68108-065-9.

⁸ Fernández-Agüera, J., Sendra, J. J., Suárez, R., Domínguez-Amarillo, S., Oteiza, I. (Septiembre de 2015). Airtightness and indoor air quality in subsidised housing in Spain. En *36th AIVC Conference. 5th TightVent Conference. 3rd Venticool Conference*. Congreso llevado a cabo en Madrid, España.

⁹ Sendra, J. J., Domínguez-Amarillo, S. (Marzo de 2015). Estrategias de rehabilitación energética en la vivienda social del sur de Europa: riesgos y oportunidades. En *Patorreb 2015. 5ª Conferência sobre Patologia e Rehabilitação de Edifícios*. Congreso llevado a cabo en Oporto, Portugal.

¹⁰ Domínguez-Amarillo, S., Sendra, J. J., Oteiza, I. (2015). *La envolvente térmica de la vivienda social. El caso de Sevilla 1939-1979*. Colección Monografías. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. ISBN: 978-84-00-10124-4.

¹¹ Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Olaya, M., Frutos, B. (Noviembre de 2015). User utility as the financial justification for low energy refurbishment. En *10th Conference on Advanced Building Skin. International- Energy Forum*. Congreso llevado a cabo en Berna, Suiza.

¹² Domínguez-Amarillo, S., Sendra, J. J., Fernández-Agüera, J., Escandón, R. (2017). *La construcción de la vivienda social en Sevilla y su catalogación 1939 – 1979*. Editorial Universidad de Sevilla. ISBN: 978-84-472-1829-5.

¹³ Alonso, C., Oteiza, I., García, J., Martín, F. (2016). Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of façades. Three case studies in Madrid. *Energy and Buildings*, 126: 252–262. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.04.034.

¹⁴ Guerrero-Rubio, J.; Sendra, J. J.; Fernández-Agüera, J.; Oteiza (2017). Test cell data-based predictive modelling to determine HVAC energy consumption for three façade solutions in Madrid. *Informes de la Construcción*, 69 (548), 1-14.

3.1. ANTECEDENTES

atienden con especial atención el análisis arquitectónico y social, la participación ciudadana, propuestas de intervención, estudio económico y compromiso con los agentes involucrados¹⁵.

¹⁵ García-Vázquez, C., Valero, E. (2016). *Intervención en barriadas residenciales obsoletas. Manual de buenas prácticas*. Editorial Abada Editores. ISBN: 978-84-16160-67-9.

3.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL PARQUE RESIDENCIAL EXISTENTE

En la actualidad, el estudio de la eficiencia energética del parque residencial existente suscita un gran interés, siendo un tema muy tratado por diferentes autores y grupos de investigación, tanto nacionales como internacionales. Asimismo, existen numerosas políticas y normativas que fomentan la eficiencia energética, así como la rehabilitación del parque residencial actual.

Podemos clasificar las normativas y políticas de referencia para la presente tesis en dos grupos; en el primero, se articulan las normativas y políticas nacionales durante el periodo de estudio (1951-1980); mientras que en el segundo, se presenta el panorama normativo actual en materia de eficiencia energética.

Por otro lado, podemos ordenar los estudios científicos de referencia para la presente tesis en otros tres grandes grupos. En el primero de ellos, podemos encontrar estudios relacionados con el crecimiento urbano de las principales ciudades de la provincia de Cádiz, principalmente mediante barriadas de carácter social. En el segundo grupo encontramos trabajos enfocados a la evaluación energética del estado actual del parque residencial, siendo de gran utilidad para la presente investigación los estudios relacionados con las metodologías de clasificación tipológica, la caracterización de la envolvente térmica y el análisis de la influencia del usuario en el consumo energético, así como su confort térmico, todo ello en diferentes zonas climáticas, centrándonos especialmente en el área mediterránea. Y por último, en el tercer grupo encontramos estudios relacionados con modelos predictivos de evaluación energética a escala urbana.

3.2.1. EVOLUCIÓN DE LA NORMATIVA ENERGÉTICA NACIONAL DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO

Hasta el año 1979 no aparece la primera normativa española general, y de obligado cumplimiento, que planteaba la exigencia de requerimientos energéticos en la edificación para las diferentes zonas climáticas a nivel nacional, siendo ésta la NBE-CT-79¹⁶. Sin embargo, anterior a esta normativa podemos encontrar instrucciones y ordenanzas reguladoras aplicables a las viviendas de promoción pública, que incidían en el comportamiento higrotérmico de los cerramientos con niveles mínimos exigibles de calidad.

En 1911 aparece la Primera Ley de Casas Baratas¹⁷ en la que, además de regular la construcción de viviendas públicas para las clases más modestas de la sociedad, aparecen las primeras referencias a la obligación de considerar criterios de construcción higienistas. Esta primera ley tuvo gran influencia en las siguientes normativas: Segunda Ley de Casas Baratas de 1921¹⁸, Tercera Ley de Casas Baratas de 1924¹⁹, Ley de 1925 de Casas Económicas para las Clases Medias²⁰, Ley para Funcionarios del Estado

¹⁶ Real Decreto 2429/1979, de 8 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Boletín Oficial del Estado, 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524-24550.

¹⁷ Ley de 13 de junio de 1911 relativa a construcción de casas baratas. Gaceta de Madrid, 13 de junio de 1911, núm. 164, pp. 755-758.

¹⁸ Ley de 11 de diciembre de 1921 relativa a Casas baratas. Gaceta de Madrid, 11 de diciembre de 1921, núm. 345, pp. 858-866.

¹⁹ Real Decreto-Ley de 10 de octubre de 1924 relativo a casas baratas. Gaceta de Madrid, 15 de octubre de 1924, núm. 289, pp. 258-265.

²⁰ Real Decreto-Ley de 28 de julio de 1925 relativo a la construcción de casas económicas destinadas a la clase media. Gaceta de Madrid, 5 de agosto de 1925, núm. 217, pp. 842-846.

de 1927²¹ y “Ley Salmón” de 1935²². En todas estas normativas se promulgan criterios similares, cuyo objetivo es garantizar las condiciones básicas de salubridad y protección frente a la humedad en los cerramientos de las viviendas públicas²³.

En 1939 se aprueba el Reglamento Técnico de la Ley de Protección de Vivienda²⁴, el cual establece únicamente los modelos característicos que debían cumplir las viviendas protegidas bajo el amparo del Estado. El Reglamento de Régimen Interior del Instituto Nacional de Vivienda (INV), de 1941²⁵, define las condiciones mínimas para las viviendas protegidas, fijando zonas climáticas de aplicación para los límites máximos aceptables de coeficiente de transmisión térmica: entre 1,2 y 1,4 kcal/hm²°C, y estableciendo una relación máxima de 2/5 entre superficie de huecos y de muro ciego en fachada²⁶.

Tanto la Orden de 1944 por la que se determinan las condiciones higiénicas mínimas que han de reunir las viviendas²⁷, como el Decreto-Ley de 1948 que modifica la Ley de 1944 sobre Viviendas Bonificadas²⁸, inciden en la necesidad del aislamiento térmico de los diferentes cerramientos que componen la envolvente térmica, pero sin llegar a establecer valores mínimos aceptables, indicando únicamente las dimensiones mínimas de los huecos por cuestiones de ventilación.

En la década de los años 50 entra en vigor la Ley de Viviendas de Renta Limitada de 1954²⁹, junto con las Ordenanzas técnicas y normas constructivas de 1955³⁰, las cuales derogan toda la normativa anterior relativa a vivienda protegida. En dichas ordenanzas se establecen los requisitos técnicos generales aplicables en el diseño y construcción de las viviendas sociales, incluyendo condiciones de composición, volumen e higiene de las viviendas, normas urbanísticas, normas constructivas y normas sanitarias.

En estas ordenanzas y normas constructivas se indica que, salvo excepciones justificables, las estancias deben estar orientadas hacia el Sur o hacia la orientación más favorable de la localidad. Además, se mantienen las dimensiones mínimas de huecos establecidas en la Orden de 1944 de un

²¹ Real Decreto-Ley 1458/1927, de 15 de agosto, concediendo beneficios a las casas baratas que se construyen para los funcionarios del Estado, organismos autónomos independientes del mismo y empleados de la Real Casa. Gaceta de Madrid, 19 de agosto de 1927, núm. 231, pp. 1014-1015.

²² Ley de 25 de junio de 1935 dictando normas para remediar el paro obrero. Gaceta de Madrid, 26 de junio de 1935, núm. 177, pp. 2442-2446.

²³ Ríos García, J. M. (2005). La fábrica de doble hoja en Madrid, un siglo de cerramiento moderno. *Informes de la construcción*, 56, 495, 57-71. DOI: 10.3989/ic.2005.v57.i495.455.

²⁴ Decreto de 8 de septiembre de 1939 aprobando el Reglamento para la aplicación de la Ley de 19 de abril de 1939, de protección a la vivienda de renta reducida. Boletín Oficial del Estado, 2 de octubre de 1939, núm. 275, pp. 5506-5516.

²⁵ Orden de 29 de enero de 1941 por la que se aprueba el Reglamento de Régimen Interior del Instituto Nacional de la Vivienda. Boletín Oficial del Estado, 13 de febrero de 1941, núm. 44, pp. 1014-1023.

²⁶ Ríos García, J. M. (2005). Op. cit.

²⁷ Orden de 29 de febrero de 1944, por la que se determinan las condiciones higiénicas mínimas que han de reunir las viviendas. Boletín Oficial del Estado, 1 de marzo de 1944, núm. 61, pp. 1833-1834.

²⁸ Decreto-Ley de 19 de noviembre de 1948 por el que se modifica la Ley de 25 de noviembre de 1944 sobre viviendas bonificadas. Boletín Oficial del Estado, 13 de diciembre de 1948, núm. 348, pp. 5570-5573.

²⁹ Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de viviendas de renta limitada. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1954, núm. 197, pp. 4834-4841.

³⁰ Orden de 12 de julio de 1955 por la que se aprueba el texto de las Ordenanzas técnicas y normas constructivas para viviendas de renta limitada. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1955, núm. 197, pp. 4321-4327.

décimo de la superficie de la habitación en la que se encuentren, y se definen los materiales permitidos en cada uno de los elementos constructivos que configuren los bloques de viviendas.

En la Sexta parte, Ordenanza 8ª de las Ordenanzas técnicas y normas constructivas de 1955, se establecen los valores máximos de coeficiente de transmisión térmica de muros y cubiertas según una simplificada zonificación climática; se dividía todo el territorio español en dos grupos: el primero de ellos correspondía a todas las regiones que comprendían la isoterma de más de 30° o que estuvieran por debajo de la de menos de 5°, y el segundo grupo todas las regiones restantes. En el caso de la provincia de Cádiz, al encontrarse en el segundo grupo, se establecían unos valores de coeficiente de transmisión térmica máxima de 1,8 kcal/hm²°C para muros y de 2,5 kcal/hm²°C para cubiertas. Asimismo, en dicha ordenanza se indica que estos valores de coeficiente de transmisión térmica deben conseguirse “en los muros por los espesores suficientes, y en cubiertas, por la elección de material de cubrición y elementos aislantes”³¹.

En la década de los años 60 surge la Ley de Viviendas de Protección Oficial de 1963³², junto con su Reglamento de aplicación de 1968³³, que dan lugar al desarrollo de las Ordenanzas técnicas y normas constructivas de 1969³⁴. En dichas ordenanzas se mantienen los mismos criterios de orientación y ventilación establecidos en las ordenanzas de 1955. Sin embargo, en cuanto al aislamiento térmico, en la Ordenanza 32ª se endurecen las limitaciones de coeficiente de transmisión térmica máxima, estableciendo para la segunda zona climática, en la que se encuentra la provincia de Cádiz, una coeficiente de transmisión térmica máxima de 1,4 kcal/hm²°C para muros y de 1,8 kcal/hm²°C para cubiertas. Además, se regula que, si hay viviendas en planta baja, se debe disponer de un forjado sanitario separado del terreno un mínimo de treinta centímetros.

Por último, en la década de los años 70 se promulga el Decreto 1490/1975³⁵, que introduce el concepto de coeficiente de transmisión de calor de cada uno de los elementos de separación (K) y de coeficiente global de transmisión de calor de un edificio (K_G). Además, se establece una nueva zonificación climática, dividiendo todo el territorio español en cuatro zonas (W, X, Y, Z). Sin embargo, no se establecen limitaciones de coeficiente de transmisión de calor máximo de cada uno de los elementos que componen la envolvente, como sí lo hacían las Ordenanzas técnicas y normas constructivas de 1969 para muros y cubiertas, aunque sí establece el valor máximo que puede adoptar el coeficiente global de transmisión de calor de un edificio en función de la zona climática en la que se ubique y su factor de forma. En el caso de la provincia de Cádiz, al situarse en la zona climática W, el coeficiente de transmisión global del edificio podía adoptar como máximo un valor comprendido entre 0,90 y 2,00 kcal/hm²°C dependiendo del factor de forma del edificio.

³¹ Ibídem.

³² Decreto 2131/1963, de 24 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la legislación sobre viviendas de protección estatal. Boletín Oficial del Estado, 6 de septiembre de 1963, núm. 214, pp. 13092-13098.

³³ Decreto 2114/1968, de 24 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la aplicación de la Ley sobre Viviendas de Protección Oficial, texto refundido aprobado por Decretos 2131/1963, de 24 de julio, y 3964/1964, de 3 de diciembre. Boletín Oficial del Estado, 7 de septiembre de 1968, núm. 216, pp. 13024-13050.

³⁴ Orden por la que se aprueba la adaptación de las ordenanzas técnicas y normas constructivas, aprobadas por Ordenes de 12 de julio de 1955 y 22 de febrero de 1968 al texto refundido y revisado de la Legislación de Viviendas de Protección Oficial y su Reglamento. Boletín Oficial del Estado, 23 de mayo de 1969, núm. 123, pp. 7918-7923.

³⁵ Decreto 1490/1975, de 12 de junio de 1975, por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía. Boletín Oficial del Estado, 11 de julio de 1975, núm. 165, pp. 15001-15003.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DEL MARCO NORMATIVO ACTUAL EN MATERIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

La Directiva 2012/27/EU³⁶ tiene como objetivo fundamental establecer un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética dentro de las estrategias del Horizonte 2020. Así, en su artículo 4, obliga a establecer políticas y estrategias a largo plazo para movilizar inversiones en la renovación y mejora del rendimiento energético del parque inmobiliario.

Fruto de este enfoque legislativo son la Ley 8/2013 de Rehabilitación, Regeneración y Renovación Urbanas³⁷, el CTE-DB HE 2013³⁸, o el Plan Integral de Fomento para el Sector de la Construcción y Rehabilitación Sostenible de Andalucía³⁹. En este último plan, uno de sus objetivos es fomentar la rehabilitación energética de las edificaciones y rehabilitación urbana, con una previsión de rehabilitación energética de 94.700 viviendas en Andalucía para el año 2020.

En el CTE-DB HE 2013 se establecen todas las limitaciones que deben cumplir los edificios en relación con la demanda energética. Para el caso de estudio que nos ocupa, edificios residenciales situados en la provincia de Cádiz, es decir, situados en la zona climática A3, se establecen las siguientes limitaciones:

- La demanda energética, tanto de calefacción como de refrigeración, debe ser igual o inferior a 15 kWh/m²año.
- La transmitancia térmica máxima de muros y elementos en contacto con el terreno es de 1,25 W/m²K.
- La transmitancia térmica máxima de cubiertas y suelos en contacto con el aire es de 0,80 W/m²K.
- La transmitancia térmica máxima de huecos es de 5,70 W/m²K.
- La permeabilidad al aire de huecos debe ser igual o inferior a 50 m³/h·m².
- La transmitancia térmica límite de particiones interiores cuando delimitan unidades de distinto uso, zonas comunes y medianerías se establece en 1,25 W/m²K.
- La transmitancia térmica límite de particiones interiores cuando delimitan unidades del mismo uso es de 1,80 W/m²K para particiones horizontales y de 1,40 W/m²K para particiones verticales.

³⁶ Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 004/8/CE y 2006/32/CE, 2012. Diario Oficial de la Unión Europea L 315, 14 de noviembre de 2012, pp. 1-56.

³⁷ Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Boletín Oficial del Estado, 27 de junio de 2013, núm. 153, pp. 47964-48023.

³⁸ Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, 12 de septiembre de 2013, núm. 219, pp. 67137-67209. Y actualización según Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE "Ahorro de energía" y el Documento Básico DB-HS "Salubridad", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, 23 de junio de 2017, núm. 149, pp. 51621-51626.

³⁹ Junta de Andalucía. (2015). *Plan Integral de Fomento para el Sector de la Construcción y Rehabilitación Sostenible de Andalucía*.

3.2.3. VIVIENDA SOCIAL DE LA PROVINCIA DE CÁDIZ

Dentro de los estudios relacionados con la vivienda social, encontramos publicaciones centradas en un ámbito nacional que nos permiten conocer los regímenes de viviendas que se establecían en las normativas relativas a vivienda social^{40, 41}. En dichas normativas se indicaban las condiciones que debían cumplir los beneficiarios de las viviendas sociales, las ventajas económicas y la duración de los regímenes de las viviendas, entre otros muchos aspectos, los cuales nos pueden dar una primera imagen de las condiciones en las que se construyeron las viviendas que son objeto de estudio de la presente tesis.

Además, dentro del ámbito nacional, se analizan diversas publicaciones que identifican barriadas de vivienda social consideradas como referentes de la arquitectura de la época^{42, 43}, muchas de ellas situadas en la provincia de Cádiz, analizándolas desde un enfoque económico, social, urbanístico y arquitectónico. Dentro de este grupo de publicaciones, también encontramos estudios que analizan las estrategias emprendidas por las diversas administraciones públicas para la rehabilitación urbana de las barriadas de vivienda social situadas en diferentes ciudades españolas⁴⁴.

En un ámbito más local, se toman como referencia estudios de análisis de la arquitectura de la época analizada que centran sus investigaciones en Andalucía^{45, 46}, y que, por lo tanto, analizan muchas de las barriadas de la provincia de Cádiz consideradas en la presente tesis. Además, desde este mismo enfoque, encontramos el análisis urbanístico de barrios vulnerables realizado por el Ministerio de Fomento⁴⁷ y algunas publicaciones que centran sus estudios en la arquitectura^{48, 49, 50} y evolución histórica de la ciudad de Cádiz^{51, 52, 53}.

⁴⁰ Moya González, L., Esquiaga Domínguez, J. M., Ingles Musoles, F. (1983). *Barrios de promoción oficial: Madrid 1939-1976: La política de promoción pública de vivienda*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. ISBN: 978-8-48557-245-8.

⁴¹ Villar Ezcurra, J. L. (1981). *La protección pública a la vivienda*. Madrid: Montecorvo. ISBN: 84-711-1169-1.

⁴² Arias, F. (2000) Las periferias sociales: Los barrios desfavorecidos en las ciudades españolas. *Documentación Social*, 119, 275-294. ISSN: 0417-8106.

⁴³ Sambricio, C. (2003). *Un siglo de vivienda social: 1903-2003*. Madrid: Nerea. ISBN: 978-8-48956-991-1.

⁴⁴ Rubio del Val, J., Molina Costa, P. (2010). Estrategias, retos y oportunidades en la rehabilitación de polígonos de vivienda construidos en España entre 1940 y 1980. *Ciudades*, 13, 15-37. ISSN: 1133-6579.

⁴⁵ Mosquera Adell, E., Pérez Escolano, V. (1991). *Racionalismo en Andalucía*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla.

⁴⁶ Pérez Escolano, V. (1986). *50 años de arquitectura en Andalucía, 1936-1986: [exposición itinerante]*. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Arquitectura y Vivienda. ISBN: 84-505-4974-4.

⁴⁷ Gobierno de España. Ministerio de Fomento. Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables. Ministerio de Fomento. URL: https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/ARQ_VIVIENDA/SUELO_Y_POLITICAS/OBSERVATORIO/Analisis_urba_Barrios_Vulnerables/. Fecha de consulta: 22 de enero de 2017.

⁴⁸ Jiménez Mata, J., Malo de Molina, J. (1995). *Guía de arquitectura de Cádiz*. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes. ISBN: 84-809-5050-1.

⁴⁹ Pérez Cano, M. T., Mosquera Adell, E., Solís Llorente, C., Malo de Molina, J. (1991). *Antonio Sánchez Estevez: Arquitecto en Cádiz: 1897-1977*. Cádiz: Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Occidental, Demarcación de Cádiz.

⁵⁰ Centro Cultural "El Palillero" (2002). *Paisaje urbano y memoria: La ciudad de Cádiz en el siglo XX: Exposición Centro Cultural El Palillero, del 27 de febrero al 15 de marzo, 2002*. Cádiz: Ayuntamiento, Fundación Municipal de Cultura. ISBN: 84-897-3629-4.

⁵¹ Bustos Rodríguez, M., de Navascués y de Palacio, J. (2012). *Recorrido por la ciudad de Cádiz y su historia*. Madrid: Silex. ISBN: 978-84-77376-08-8.

Sin embargo, en todas las citadas publicaciones, los análisis efectuados tienen un marcado carácter proyectual y urbanístico, incidiendo muy ligeramente en los sistemas constructivos empleados en dichas barriadas, aunque resultan de gran utilidad para la identificación de las barriadas de vivienda social de la época analizada en la provincia de Cádiz.

Por último, el estudio de las publicaciones relacionadas con la vivienda social de la provincia de Cádiz se complementa con el análisis de los Planes Generales de Ordenación Urbanística de cada una de las ciudades consideradas como objetos de estudio^{54, 55}.

3.2.4. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL ESTADO ACTUAL DEL PARQUE RESIDENCIAL

En el grupo de estudios enfocados a la evaluación del parque residencial actual, en la línea de búsqueda de métodos de clasificación de las tipologías, encontramos el estudio del parque residencial actual comprendido entre los años 1950 y 1980 realizado por el equipo de J. Neila, investigador principal del grupo ABIO “Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible” de la Universidad Politécnica de Madrid, en el cual se expone un método de clasificación de las fachadas y su caracterización constructiva. Además, se comprueba su eficiencia energética con respecto a los estándares impuestos por la normativa actual española, proponiendo posibles actuaciones de mejora en las fachadas para conseguir el cumplimiento de éstas⁵⁶.

Asimismo, enfocados en el clima mediterráneo, encontramos los estudios realizados por E.G. Dascalaki, investigador del Grupo de Conservación de la Energía perteneciente al Instituto de Investigación Medioambiental y Desarrollo Sostenible del Observatorio Nacional de Atenas. En ellos, se propone una metodología de clasificación de tipologías edificatorias con el objeto de que sirva como herramienta para el conocimiento del comportamiento energético de las viviendas, afirmando que aún es escaso el conocimiento del estado actual de los edificios existentes⁵⁷, por lo que propone la creación de una base de datos que incluya los resultados de las calificaciones energéticas realizadas

⁵² Bustos Rodríguez, M., Lomas Salomonte, F. J., Millán Chivite, J. L., Ramos Santana, A., Sánchez Saus, R. (1990-1993). *Historia de Cádiz*. Madrid: Sílex. ISBN: 84-773-7035-4.

⁵³ Ruiz Nieto Guerrero, M. P. (1999). *Historia urbana de Cádiz: Génesis y formación de una ciudad moderna*. Sevilla: Caja San Fernando. ISBN: 84-923-3106-2.

⁵⁴ Jiménez Mata, J. (1986). Cádiz y su plan general de 1984. *Geometría: Revista Semestral De Arquitectura y Urbanismo*, 1, 12-27. ISSN: 0213-4780.

⁵⁵ Ayuntamiento de Algeciras Plan General de Ordenación Urbana de Algeciras. URL: <http://www.algeciras.es/es/temas/urbanismo-y-vivienda/delegacion-de-urbanismo/pgou/>. Fecha de consulta: 25 de enero de 2017.

Ayuntamiento de Cádiz. Plan General de Ordenación Urbana de Cádiz. URL: [http://institucional.cadiz.es/area/Plan%20General%20de%20Ordenaci%C3%B3n%20Urban%C3%ADstica%20\(PGOU\)/677](http://institucional.cadiz.es/area/Plan%20General%20de%20Ordenaci%C3%B3n%20Urban%C3%ADstica%20(PGOU)/677). Fecha de consulta 25 de enero de 2017.

Ayuntamiento de #LaLinea. Plan General de Ordenación Urbana de La Línea de la Concepción. URL: <http://www.laline.es/portal/index.php/14-urbanismo/136-pgou>. Fecha de consulta: 22 de enero de 2017.

#El Puerto de Santa María. Plan General de Ordenación Urbana de El Puerto de Santa María. URL: <http://www.elpuerto-desantamaria.es/contenido/743/13996/plan-general-de-ordenaciOn-urbanistica>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2017.

San Fernando. Plan General de Ordenación Urbana de San Fernando. URL: <http://www.sanfernando.es/ayto/visor.asp?hidOptNav=1182>. Fecha de consulta: 31 de enero de 2017.

⁵⁶ Cuerda, E., Pérez, M., Neila, J. (2014). Facade typologies as a tool for selecting refurbishment measures for the Spanish residential building stock. *Energy and Buildings*, 76, 119-129. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.02.054.

⁵⁷ Dascalaki, E. G., Drousta, K. G., Balaras, C. A., Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings*, 43, 12, 3400-3409. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.002.

por diferentes técnicos⁵⁸. En la misma línea encontramos un estudio realizado por el Centro Científico y Técnico de la Construcción (CSTB), en el que se propone una metodología simplificada de estimación de la calificación energética a través de un método de clasificación tipológica⁵⁹.

El proyecto EEI-TABULA, “Desarrollo de una clasificación tipológica de edificios para la evaluación energética de los edificios residenciales en 13 países europeos”⁶⁰, realiza una clasificación tipológica como indicativo de características energéticas a partir de diferentes edificios representativos de varios países europeos, centrándose en edificios residenciales y clasificándolos por periodo de construcción y tamaño del edificio⁶¹. Como objetivo final propone crear una herramienta web para el asesoramiento energético y la evaluación ambiental de edificios europeos.

En el contexto de ahorro energético, en Reino Unido se están elaborando varios proyectos de investigación dentro de la organización sin ánimo de lucro ZERO CARBON HUB. Destacamos el proyecto “Closing the Performance Gap: the 2020 Ambition. From 2020, be able to demonstrate that at least 90% of all new homes meet or perform better than the designed energy/carbon performance”⁶², que aborda el problema de no correspondencia entre los consumos estimados en una vivienda y los consumos reales. Esto provoca que las facturas energéticas sean más elevadas de lo estimado, traduciéndose en una gran desconfianza por parte del usuario en las formas de estimación. Esta problemática ofrece la oportunidad de un gran potencial de mejora y ahorro energético.

En esta línea, se están realizando investigaciones sobre la influencia del usuario en el consumo energético. En el estudio de C. Tweed, investigador del BRE “Centro de Diseño Sostenible del Medioambiente Construido” de la Escuela de Arquitectura de Welsh, en Cardiff, Reino Unido, se afirma que, aunque existe una amplia gama de soluciones técnicas para reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂, no se producen los ahorros energéticos esperados, ya que los usuarios operan en sus viviendas de forma inesperada, originando el efecto conocido como “performance gap”, muchas veces debido a la falta de entendimiento de los sistemas técnicos⁶³. Es por ello que las evaluaciones post-ocupación tienen más relevancia en los últimos años, por lo que se realiza un estudio del estado del arte sobre la experiencia en esta línea de trabajo de varios autores internacionales⁶⁴.

M. Sunikka-Blank, investigador del grupo del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Cambridge, Reino Unido, también detecta en sus investigaciones que los resultados obtenidos en los

⁵⁸ Dascalaki, E. G., Droutsa, K., Gaglia, A. G., Kontoyiannidis, S., Balaras, C. (2010). Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. *Energy and Buildings*, 42(8), 1231–1237. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.02.014.

⁵⁹ Florio, P., Teissier, O. (2015). Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterized via qualitative variables through a typology-based approach model: A fuel poverty evaluation tool. *Energy and Buildings*, 89, 39-48. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.024.

⁶⁰ Proyecto EEI-TABULA. URL: <http://www.five.es/component/content/article/579-tabula.html>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015.

⁶¹ Ballarini, I., Corgnati, S. P., Corrado, V. (2014). Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. *Energy Policy*, 68, 273–284. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.01.027.

⁶² ZERO CARBON HUB, Closing the gap between designed and built performance. URL: www.zerocarbonhub.org. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015.

⁶³ Tweed, C. (2013). Socio-technical issues in dwelling retrofit. *Building Research and Information*, 41, 5, 551-562. DOI: 10.1080/09613218.2013.815047.

⁶⁴ Guerra-Santin, O., Tweed, C. (2015). In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings*, 93, 189-207. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.02.042.

cálculos realizados por simulaciones no coinciden con la realidad⁶⁵, justificándose nuevamente por la influencia del usuario como un parámetro que interviene en el consumo energético. Además, P. Rutherford, investigador del Departamento de Arquitectura y Medio Ambiente de la Universidad de Nottingham, lleva a cabo una investigación a partir de los resultados obtenidos en varias viviendas piloto y a través de encuestas a los usuarios, en la cual estudia la influencia de los usuarios y del diseño de los edificios en el consumo energético de las viviendas⁶⁶.

Dentro de esta problemática de la influencia del usuario en el consumo energético, destacamos las investigaciones de F. Stevenson, del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Oxford Brookes de Reino Unido. Este autor pone de manifiesto la necesidad de un mayor entendimiento por parte del usuario de los equipos domésticos y los sistemas de la vivienda, lo cual conduce a una reducción del consumo energético⁶⁷. Además, encontramos estudios realizados por A. Zimmerman y M. Martin, pertenecientes a la Corporación de Edificios British Columbia de Canadá, que ponen de manifiesto lo beneficiosas que son las monitorizaciones y evaluaciones energéticas de las viviendas cuando están ocupadas por sus usuarios, dando a conocer el funcionamiento real de las viviendas, aunque también se encuentran diferentes limitaciones en este tipo de evaluaciones⁶⁸.

En este contexto, surge el proyecto E3 SoHo “Energy Efficiency in European Social Housing”⁶⁹, desarrollado en las ciudades europeas de Varsovia, Génova y Zaragoza durante los años 2010 y 2013. En este proyecto de investigación se analizan los hábitos de consumo de viviendas municipales y se evalúa el potencial de ahorro económico, tras aplicar soluciones de ahorro energético de los usuarios a través de una metodología estandarizada.

A partir de los estudios de la influencia del usuario en el consumo energético, se abre otra línea de investigación que analiza el potencial de ahorro en viviendas automatizadas, en las que el usuario tenga acceso a información de sus patrones de consumo y cómo estos pueden cambiar el comportamiento de consumo de los usuarios^{70, 71, 72, 73}.

Por otro lado, pero relacionado con el confort térmico y derivado de la crisis económica, se realiza un estudio por M. Santamouris, investigador principal del grupo Building Environmental Studies (National and Kapodistrian University of Athens), en el que se centra en la evaluación energética de

⁶⁵ Sunikka-Blank, M., Galvin, R. (2012). Introducing the rebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research and Information*, 40, 3, 260-273. DOI: 10.1080/09613218.2012.690952.

⁶⁶ Elsharkawy, H., Rutherford, P. (2015). Retrofitting social housing in the UK: Home energy use and performance in a pre-Community Energy Saving Programme (CESP). *Energy and Buildings*, 88, 25-33. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.11.045.

⁶⁷ Stevenson, F., Carmona-Andreu, I., Hancock, M. (2012). Designing for comfort-usability barriers in low carbon housing. En *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012*. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.

⁶⁸ Zimmerman, A., Martin, M. (2001). Post-occupancy evaluation: benefits and barriers. *Building Research and Information*, 29, 2, 168-174. DOI: 10.1080/09613210010016857.

⁶⁹ Proyecto E3 SoHo. URL: <http://www.e3soho.eu>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015.

⁷⁰ Bonino, D., Corno, F., de Russis, L. (2012). Home energy consumption feedback: A user survey. *Energy and Buildings*, 47, 383-393. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.017.

⁷¹ Buchanan, K., Russo, R., Anderson, B. (2014). Feeding back about eco-feedback: How do consumers use and respond to energy monitors?. *Energy Policy*, 73, 138-146. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.05.008.

⁷² Hargreaves, T., Nye, M., Burgess, J. (2010). Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy*, 38, 6111-6119. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.05.068.

⁷³ Dall'O', G., Sarto, L. (2014). Individual metering of energy in existing buildings: potential and critical aspects. *Energy Efficiency*, 7, 467-476. DOI: 10.1007/s12053-013-9235-5.

las viviendas de renta baja. Para ello, lleva a cabo un análisis sobre la relación entre el nivel de ingresos de las personas con la calidad energética de las viviendas en las que residen, resaltando el alto grado de “pobreza energética” existente en gran parte del sector residencial de renta baja⁷⁴. Para la consecución de estos análisis realiza labores de monitorización y encuestas a los usuarios⁷⁵. Además, M. Santamouris realiza un estudio sobre la afectación de las olas de calor en el comportamiento ambiental de las viviendas en Atenas a través de monitorizaciones⁷⁶, complementando la investigación con otro estudio referente al comportamiento ambiental de las viviendas de renta baja en invierno⁷⁷, del cual se obtienen conclusiones complementarias a las anteriores relacionadas con la “pobreza energética”, observándose un descenso muy pronunciado del consumo energético en los últimos años.

En la línea de investigación de las zonas climáticas, destacamos los estudios realizados por S. Álvarez perteneciente al Departamento de Ingeniería Energética de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla e investigador principal del grupo TEP-I43: “Termotecnia”, en los que se desarrolla una metodología para la zonificación climática de las localidades que no están incluidas en la normativa española de ahorro de energía⁷⁸, poniendo de manifiesto la influencia de la zona climática en las necesidades energéticas de las viviendas⁷⁹. En esta misma línea, destacamos el estudio realizado por el grupo “Gestión y Tecnología Ambiental” de la Universidad de Granada, en el cual se propone una clasificación alternativa de las zonas climáticas de España indicadas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), basándose en un método de funciones de aproximación e interpolación y aplicándolo a la comunidad autónoma de Andalucía⁸⁰.

En relación con las zonas climáticas, encontramos el estudio realizado por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza, en el que se establecen factores de corrección de las conductividades térmicas de los materiales de fachada en función de las condiciones ambientales exteriores, aplicándolo a 52 ciudades españolas⁸¹.

⁷⁴ Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C., Assimakopoulos, M.N. (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39, 8, 893-905. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.11.001.

⁷⁵ Santamouris, M., et al. (2013). Financial crisis and energy consumption: A household survey in Greece. *Energy and Buildings*, 65, 477-487. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.06.024.

⁷⁶ Sakka, A., Santamouris, M., Livada, I., Nicol, F., Wilson, M. (2012). On the thermal performance of low income housing during heat waves. *Energy and Buildings*, 49, 69-77. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.023.

⁷⁷ Santamouris, M., et al. (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.

⁷⁸ Sánchez, F. J., Álvarez, S., Molina, J. L., González, R. (2008). Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations. *Energy and Buildings*, 40, 1984-1990. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.05.006.

⁷⁹ Salmerón, J. M., Álvarez, S., Molina, J. L., Ruiz, A., Sánchez, F. J. (2013). Tightening the energy consumptions of buildings depending on their typology and on Climate Severity Indexes. *Energy and Buildings*, 58, 372-377. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.09.039.

⁸⁰ Carpio, M., Jódar, J., Rodríguez, M. L., Zamorano, M. (2015). A proposed method based on approximation and interpolation for determining climatic zones and its effect on energy demand and CO₂ emissions from buildings. *Energy and Buildings*, 87, 253-264. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.11.041.

⁸¹ Pérez-Bella, J. M., Domínguez-Hernández, J., Cano-Suñén, E., del Coz-Díaz, J. J., Álvarez-Rabanal, F. P. (2015). A correction factor to approximate the design thermal conductivity of building materials. Application to Spanish façades. *Energy and Buildings*, 88, 153-164. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.005.

3.2.5. MODELOS PREDICTIVOS DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA A ESCALA URBANA

En el último grupo de investigaciones relevantes para la presente tesis, encontramos estudios relacionados con modelos predictivos de evaluación y rehabilitación energética a escala urbana. Existen varias técnicas de predicción, las cuales quedan recogidas en la revisión sobre este tema que hace Swan et al.⁸², distinguiendo dos tipos de enfoques, *top-down* y *bottom-up*, dependiendo de los datos de entrada. Asimismo, C. F. Reinhart realiza una revisión sobre los métodos de simulación emergentes y las metodologías utilizadas para la implementación de modelos predictivos a escala urbana con un enfoque *bottom-up*⁸³.

El enfoque *top-down* permite generar modelos predictivos que estiman la demanda energética de los edificios a partir de los datos energéticos globales de una ciudad o región, subdividiendo el parque residencial en secciones más pequeñas⁸⁴. Sin embargo, este tipo de enfoque no reporta buenos resultados cuando se reduce la escala de aproximación en demasía.

El enfoque *bottom-up* es el más utilizado para los modelos predictivos a escala urbana, ya que permite reducir la escala. Dentro de este enfoque se diferencian tres técnicas de predicción: regresión, análisis condicional y red neuronal. En relación con qué técnica de predicción es la más adecuada para la creación de modelos predictivos de evaluación energética a escala urbana, el método de red neuronal permite utilizar numerosas variables socioeconómicas⁸⁵, pudiendo a priori ofrecer una mayor aproximación. Sin embargo, se ha demostrado que las diferencias entre las tres técnicas de modelado, regresión, análisis condicional y red neuronal, son bastante pequeñas, por lo que las tres técnicas serían válidas para predecir el consumo de energía a escala urbana. Además, la técnica de regresión, que ha sido la más utilizada hasta el momento, presenta la ventaja de una menor complejidad⁸⁶.

Como paso previo a la generación de modelos predictivos a escala urbana, se hace completamente necesario realizar una clasificación en arquetipos de los edificios en los que se va a aplicar el modelo. Numerosos autores han centrado sus estudios en definir la forma más adecuada de dividir los edificios que conforman un espacio urbano, ya sea por la geometría de los edificios, año de construcción, uso o clima en el que se ubican^{87, 88}. Además, C. Monteiro et al.⁸⁹ analizan hasta qué

⁸² Swan, L. G., Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1819–1835. DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.033.

⁸³ Reinhart, C. F., Davila, C. C. (2016). Urban building energy modeling - A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.12.001.

⁸⁴ Howard, B., Parshall, L., Thompson, J., Hammer, S., Dickinson, J., Modi, V. (2012). Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings*, 45, 141–151. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.10.061.

⁸⁵ Aydinalp-Koksal, M., Ugursal, V. I. (2008). Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Applied Energy*, 85(4), 271–296. DOI: 10.1016/j.apenergy.2006.09.012.

⁸⁶ Tso, G. K. F., Yau, K. K. W. (2007). Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy*, 32(9), 1761–1768. DOI: 10.1016/j.energy.2006.11.010.

⁸⁷ Tuominen, P., Holopainen, R., Lari, E., Jokisalo, J., Airaksinen, M. (2014). Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. *Building and Environment*, 75, 153–160. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.02.001.

⁸⁸ Heiple, S., Sailor, D. J. (2008). Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. *Energy and Buildings*, 40, 1426–1436. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.01.005.

⁸⁹ Sousa, C., Pina, A., Davila, C. C., Reinhart, C. (2017). The use of multi-detail building archetypes in urban energy modelling. *Energy Procedia*, 111 (September 2016), 817–825. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.244.

nivel de detalle se debe considerar en una clasificación de arquetipos para poder obtener resultados fehacientes, sin llegar a una caracterización muy detallada.

En la aplicación de modelos predictivos para rehabilitación sostenible, encontramos estudios que investigan la viabilidad de la aplicación de éstos para resolver el problema de la eficiencia energética en los edificios, de manera que se puedan considerar en un mismo modelo varias soluciones alternativas de rehabilitación energética, identificando las ventajas y desventajas de cada una de las propuestas^{90, 91}.

Dentro de la aplicación de modelos predictivos de evaluación energética a diferentes zonas urbanas de la Europa mediterránea, encontramos las investigaciones realizadas por Giuliano Dall'O', del Departamento BEST "Building Environment Science and Technology" de la Universidad Politécnica de Milán, que investiga la eficiencia energética a una escala de municipio o distritos.

Entre sus trabajos destacamos el estudio realizado para la región de Lombardía, el cual tenía por objetivo crear una plataforma SIG que permitiera a las instituciones públicas de los municipios analizados disponer de una base de datos global de la eficiencia energética de todos los edificios del entorno urbano, con el fin de establecer estrategias de rehabilitación de manera conjunta a partir de una visión global de la ciudad⁹². La metodología empleada para este estudio perseguía el objetivo de acelerar el proceso de evaluación energética de los edificios a una escala urbana. Para ello, recopila información de los edificios en las diferentes instituciones públicas y se sirve de la herramienta de Google Earth. Analiza estadísticamente las tipologías predominantes según su periodo de construcción, inspecciona el estado de los edificios, y genera una base de datos que es trasladada a una plataforma SIG, a partir de la cual se estiman los valores de consumo siguiendo una metodología de comparación y estadística que está siendo investigada por varios autores^{93, 94}.

Con esta metodología no se obtienen resultados exhaustivos de eficiencia energética de los edificios de un municipio, pues no se tienen en cuenta diversos aspectos muy importantes como la influencia del usuario en el consumo de energía⁹⁵. Sin embargo, a partir de los modelos predictivos a escala urbana, se genera un gran conocimiento que puede ser empleado por las diferentes administraciones para planificar estrategias de rehabilitación a una escala urbana^{96, 97}. Esta metodología ha sido aplicada

⁹⁰ Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kolokotsa, D. (2008). Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 40, 1747-1754. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.03.002.

⁹¹ Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., Dias, L., Glicksman, L. (2014). Multi-objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. *Energy and Buildings*, 81, 444-456. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.06.009.

⁹² Dall'O', G., Galante, A., Torri, M. (2012). A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings*, 48, 211-219. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.034.

⁹³ Aksoezen, M., Daniel, M., Hassler, U., Kohler, N. (2015). Building age as an indicator for energy consumption. *Energy and Buildings*, 87, 74-86. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.074.

⁹⁴ Caldera, M., Corgnati, S. P., Filippi, M. (2008). Energy demand for space heating through a statistical approach: application to residential buildings. *Energy and Buildings*, 40, 1972-1983. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.05.005.

⁹⁵ Kavgić, M., Mavrogiani, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), 1683-1697. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.01.021.

⁹⁶ Dall'O', G., Galante, A., Pasetti, G. (2012). A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks. *Sustainable Cities and Society*, 4, 12-21. DOI: 10.1016/j.scs.2012.01.004.

⁹⁷ Dall'O', G., Norese, M. F., Galante, A., Novello, C. (2013). A multi-criteria methodology to support Public Administration decision making concerning sustainable energy action plans. *Energies*, 6, 4308-4330. DOI: 10.3390/en6084308.

por diferentes autores en varias regiones de Italia, como Milán⁹⁸, Sicilia⁹⁹, Benevento¹⁰⁰, Piamonte y Lombardía¹⁰¹.

Con este mismo enfoque encontramos varios estudios realizados por investigadores del área mediterránea^{102, 103}, que centran sus investigaciones en el comportamiento energético del parque edificatorio a través de análisis estadísticos, como paso previo para la generación de modelos predictivos en diferentes países miembros de la Unión Europea de la zona sur, como Grecia y Chipre.

También encontramos estudios en los que se desarrollan modelos predictivos de evaluación energética a partir de la técnica de red neuronal¹⁰⁴. Sin embargo, dichos estudios, al utilizar una técnica de predicción más exhaustiva, están enfocados a mejorar la precisión de los programas de simulación que permiten obtener el etiquetado de la calificación energética, con el fin de poder ser sustituidos por los modelos propuestos.

En esta línea de investigación se desarrolla el proyecto europeo MUSIC “Mitigation of CO₂ emissions in Urbanareas: Solutions for Innovative Cities”¹⁰⁵, que está destinado a reducir las emisiones de CO₂ en un contexto urbano. Este proyecto se implementa en cinco ciudades europeas, desarrollando para cada una de ellas un Sistema de Información Geográfica¹⁰⁶ que sirva para apoyar la toma de decisiones de las administraciones públicas para la rehabilitación energética a una escala urbana. La metodología seguida estima el consumo energético a escala urbana, utilizando un modelo de regresión lineal con diversas variables, como el periodo de construcción, superficie de suelo, número de ocupantes o el tipo de viviendas¹⁰⁷.

⁹⁸ Caputo, P., Costa, G., Ferrari, S. (2013). A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. *Energy Policy*, 55, 261–270. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.12.006.

⁹⁹ Filogamo, L., Peri, G., Rizzo, G., Giaccone, A. (2014). On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes. *Applied Energy*, 135, 825–835. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.04.002.

¹⁰⁰ Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Fistola, R., Sasso, M., Vanoli, G. P. (2013). Analysis and diagnosis of the energy performance of buildings and districts: Methodology, validation and development of Urban Energy Maps. *Cities*, 35, 270–283. DOI: 10.1016/j.cities.2013.04.012.

¹⁰¹ Fracastoro, G. V., Serraino, M. (2011). A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications. *Energy and Buildings*, 43(4), 844–852. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.004.

¹⁰² Panayiotou, G. P., Kalogirou, S. A., Florides, G. A., et al. (2010). The characteristics and the energy behaviour of the residential building stock of Cyprus in view of Directive 2002/91/EC. *Energy and Buildings*, 42, 2083–2089. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.06.018.

¹⁰³ Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., Heggera, M. (2011). Statistical analysis of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, 43, 2422–2428. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.05.034.

¹⁰⁴ Melo, A. P., Cóstola, D., Lamberts, R., Hensen, J. L. M. (2014). Development of surrogate models using artificial neural network for building shell energy labelling. *Energy Policy*, 69, 457–466. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.02.001.

¹⁰⁵ Proyecto MUSIC. URL: <http://www.themusicproject.eu/>. Fecha de consulta: 17 de mayo de 2015.

¹⁰⁶ Smart City Energy platform. URL: <http://iguess.list.lu/>. Fecha de consulta: 17 de mayo de 2015.

¹⁰⁷ Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., Leopold, U. (2014). Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: A GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam. *Energy and Buildings*, 75, 358–367. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.02.032.

Epílogo

En relación con el importante parque residencial del periodo anterior a la entrada en vigor de la NBE-CT 79, en muchos casos en claras condiciones de obsolescencia, esta tesis ha propuesto una nueva metodología que permite generar modelos de evaluación energética de dicho parque, como paso previo para el establecimiento de planes integrales de rehabilitación sostenible de ciudades mediterráneas. Los resultados y conclusiones obtenidos permiten abrir nuevas líneas de investigación para la evaluación energética del parque residencial desde una escala urbana.

Como principal nueva línea de investigación se propone aplicar la metodología propuesta en esta tesis a otras zonas climáticas del arco mediterráneo andaluz, con el objetivo de comprobar si es posible ofrecer un modelo predictivo para ciudades mediterráneas, en el cual la zona climática fuera un nuevo dato de entrada.

Se plantea la posibilidad de que los modelos generados permitan obtener valores de consumo energético, además de valores globales de calificación energética y emisiones de CO₂; demanda de calefacción, de refrigeración y total; y emisiones de CO₂ asociadas al servicio de calefacción, refrigeración y ACS. Para ello, sería necesario comprobar la viabilidad de ampliar la metodología propuesta, incluyendo tareas destinadas a la obtención de datos de consumo de una gran cantidad de bloques de viviendas, principalmente a través de la cesión de dichos datos por parte de las empresas eléctricas o a través de encuestas a los usuarios.

Asimismo, se propone la posibilidad de ampliar los resultados obtenidos con los modelos predictivos, incluyendo resultados de calificación energética, emisiones de CO₂ y demanda energética tras la aplicación de las principales estrategias de rehabilitación sostenible utilizadas en este tipo de edificaciones. Esta modificación del modelo predictivo permitiría conocer el potencial de mejora de un gran número de bloques de viviendas, ofreciendo a las administraciones públicas la posibilidad de tomar decisiones sobre en qué edificaciones y con qué estrategia sería más necesario invertir en rehabilitación sostenible. A partir de estos nuevos resultados de los modelos predictivos, se haría viable realizar estudios económicos que analizaran el periodo de amortización de la rehabilitación sostenible de cada uno de los bloques de viviendas.

Del mismo modo esta metodología podría aplicarse a al resto del parque residencial así como a edificios de uso terciario, en el mismo periodo de estudio o en periodos posteriores de manera que se podrían generar modelos de evaluación energética que acojan a toda la trama urbana de las diferentes ciudades mediterráneas.

A partir de las dificultades encontradas en el desarrollo de la tesis doctoral, principalmente centradas en la obtención de los proyectos originales de las promociones de vivienda social, se plantea la posibilidad de analizar la viabilidad de modificar la metodología propuesta, sustituyendo la obtención de los proyectos originales por inspecciones visuales, visitas a los bloques de viviendas y mediciones *in situ*, lo cual supondría un importante ahorro de tiempo en el proceso.

Además, se considera que los Sistemas de Información Geográfica desarrollados pueden llegar a suponer una herramienta de gran utilidad para investigaciones futuras de diversa índole, debido a la gran cantidad de información relativa a las promociones de vivienda social de la provincia de Cádiz incluida en los diferentes SIG.

Por último, como continuación de la labor de difusión comenzada con las dos publicaciones derivadas de la presente tesis, las cuales se reproducen en el Anexo III, se plantea difundir los principales resultados de investigación obtenidos mediante artículos científicos en revistas indexadas y participando en congresos nacionales e internacionales.

BIBLIOGRAFÍA

Libros y capítulos de libros

Bustos Rodríguez, M., Lomas Salomonte, F. J., Millán Chivite, J. L., Ramos Santana, A., Sánchez Saus, R. (1990-1993). *Historia de Cádiz*. Madrid: Sílex. ISBN: 84-773-7035-4.

Bustos Rodríguez, M., de Navascués y de Palacio, J. (2012). *Recorrido por la ciudad de Cádiz y su historia*. Madrid: Sílex. ISBN: 978-84-77376-08-8.

Centro Cultural “El Palillero” (2002). *Paisaje urbano y memoria: La ciudad de Cádiz en el siglo XX: Exposición Centro Cultural El Palillero, del 27 de febrero al 15 de marzo, 2002*. Cádiz: Ayuntamiento, Fundación Municipal de Cultura. ISBN: 84-897-3629-4.

Domínguez-Amarillo, S., Sendra, J. J., Oteiza, I. (2015). *La envolvente térmica de la vivienda social. El caso de Sevilla 1939-1979*. Colección Monografías. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. ISBN: 978-84-00-10124-4.

Domínguez-Amarillo, S., Sendra, J. J., Fernández-Agüera, J., Escandón, R. (2017). *La construcción de la vivienda social en Sevilla y su catalogación 1939 – 1979*. Editorial Universidad de Sevilla. ISBN: 978-84-472-1829-5.

García-Vázquez, C., Valero, E. (2016). *Intervención en barriadas residenciales obsoletas. Manual de buenas prácticas*. Editorial Abada Editores. ISBN: 978-84-16160-67-9.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2009). *Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*. (IDAE, Ed.). Madrid.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (2015). *Guía IDAE: Manual de usuario de certificación energética de edificios existentes CE³X* (IDEA ed.). Madrid.

Jiménez Mata, J., Malo de Molina, J. (1995). *Guía de arquitectura de Cádiz*. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes. ISBN: 84-809-5050-1.

Martínez-Hervás, M., Sendra, J. J., Suárez, R. (2015). Towards a Sustainable Retrofitting Plan for Social Housing in Mediterranean Europe. En Mercader-Moyano, P. (Eds.), *The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods* (pp. 147-163). Bentham Science. ISBN: 978-1-68108-065-9.

BIBLIOGRAFÍA

Moya González, L., Esquiaga Domínguez, J. M., Ingles Musoles, F. (1983). *Barrios de promoción oficial: Madrid 1939-1976: La política de promoción pública de vivienda*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. ISBN: 978-8-48557-245-8.

Nunnally, J. C. (1978). *Psychometric theory*. Nueva York: McGraw-Hill. ISBN: 978-0-07107-088-1.

Oteiza, I., Alonso, C., Martín Consuegra, F., Monjo, J., González Moya, M. (2015). Energy retrofitting for social housing by improving the building envelope: Madrid, 1939-1979. En *The Sustainable Renovation of Buildings and Neighbourhoods* (pp. 3-32). Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla, España. ISBN: 978-1-68108-065-9.

Pérez Cano, M. T., Mosquera Adell, E., Solís LLorente, C., Malo de Molina, J. (1991). *Antonio Sánchez Estevez: Arquitecto en Cádiz: 1897-1977*. Cádiz: Colegio Oficial de Arquitectos de Andalucía Occidental, Demarcación de Cádiz.

Pérez Escolano, V. (1986). *50 años de arquitectura en Andalucía, 1936-1986: [exposición itinerante]*. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes, Dirección General de Arquitectura y Vivienda. ISBN: 84-505-4974-4.

Ruiz Nieto Guerrero, M. P. (1999). *Historia urbana de Cádiz: Génesis y formación de una ciudad moderna*. Sevilla: Caja San Fernando. ISBN: 84-923-3106-2.

Sambricio, C. (2003). *Un siglo de vivienda social: 1903-2003*. Madrid: Nerea. ISBN: 978-8-48956-991-1.

Sendra, J. J., Domínguez, S., León, A. L., et al. (2011). *Proyecto Eficacia. Optimización energética en la vivienda colectiva*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla, Emvisesa y Sodinur, Sevilla. ISBN: 978-8-44721-376-4.

Thorndike, R.L. (1982). *Applied Psychometrics*. Boston: Houghton-Mifflin. ISBN: 978-0-39530-077-0.

Villar Ezcurra, J. L. (1981). *La protección pública a la vivienda*. Madrid: Montecorvo. ISBN: 84-711-1169-1.

Artículos científicos

Aksoezen, M., Daniel, M., Hassler, U., Kohler, N. (2015). Building age as an indicator for energy consumption. *Energy and Buildings*, 87, 74-86. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.10.074.

Alonso, C., Oteiza, I., García, J., Martín, F. (2016). Energy consumption to cool and heat experimental modules for the energy refurbishment of façades. Three case studies in Madrid. *Energy and Buildings*, 126: 252-262. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.04.034.

Arias, F. (2000) Las periferias sociales: Los barrios desfavorecidos en las ciudades españolas. *Documentación Social*, 119, 275-294. ISSN: 0417-8106.

Asadi, E., da Silva, M. G., Antunes, C. H., Dias, L., Glicksman, L. (2014). Multi-objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application. *Energy and Buildings*, 81, 444-456. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.06.009.

Ascione, F., De Masi, R. F., de Rossi, F., Fistola, R., Sasso, M., Vanoli, G. P. (2013). Analysis and diagnosis of the energy performance of buildings and districts: Methodology, validation and development of Urban Energy Maps. *Cities*, 35, 270–283. DOI: 10.1016/j.cities.2013.04.012.

- Aydinalp-Koksal, M., Ugursal, V. I. (2008). Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Applied Energy*, 85(4), 271–296. DOI: 10.1016/j.apenergy.2006.09.012.
- Ballarini, I., Corgnati, S. P., Corrado, V. (2014). Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. *Energy Policy*, 68, 273–284. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.01.027.
- Bonino, D., Corno, F., de Russis, L. (2012). Home energy consumption feedback: A user survey. *Energy and Buildings*, 47, 383-393. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.12.017.
- Buchanan, K., Russo, R., Anderson, B. (2014). Feeding back about eco-feedback: How do consumers use and respond to energy monitors?. *Energy Policy*, 73, 138-146. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.05.008.
- Caldera, M., Corgnati, S. P., Filippi, M. (2008). Energy demand for space heating through a statistical approach: application to residential buildings. *Energy and Buildings*, 40, 1972-1983. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.05.005.
- Caputo, P., Costa, G., Ferrari, S. (2013). A supporting method for defining energy strategies in the building sector at urban scale. *Energy Policy*, 55, 261–270. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.12.006.
- Carpio, M., Jódar, J., Rodríguez, M. L., Zamorano, M. (2015). A proposed method based on approximation and interpolation for determining climatic zones and its effect on energy demand and CO₂ emissions from buildings. *Energy and Buildings*, 87, 253-264. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.11.041.
- Cuerda, E., Pérez, M., Neila, J. (2014). Facade typologies as a tool for selecting refurbishment measures for the Spanish residential building stock. *Energy and Buildings*, 76, 119-129. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.02.054.
- Dall’O’, G., Galante, A., Pasetti, G. (2012). A methodology for evaluating the potential energy savings of retrofitting residential building stocks. *Sustainable Cities and Society*, 4, 12-21. DOI: 10.1016/j.scs.2012.01.004.
- Dall’O’, G., Galante, A., Torri, M. (2012). A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings*, 48, 211-219. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.034.
- Dall’O’, G., Norese, M. F., Galante, A., Novello, C. (2013). A multi-criteria methodology to support Public Administration decision making concerning sustainable energy action plans. *Energies*, 6, 4308-4330. DOI: 10.3390/en6084308.
- Dall’O’, G., Sarto, L. (2014). Individual metering of energy in existing buildings: potential and critical aspects. *Energy Efficiency*, 7, 467-476. DOI: 10.1007/s12053-013-9235-5.
- Dascalaki, E. G., Droutsas, K., Gaglia, A. G., Kontoyiannidis, S., Balaras, C. (2010). Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. *Energy and Buildings*, 42(8), 1231–1237. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.02.014.
- Dascalaki, E. G., Droutsas, K. G., Balaras, C. A., Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings – A case study for the Hellenic building stock. *Energy and Buildings*, 43, 12, 3400-3409. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.002.

BIBLIOGRAFÍA

- Diakaki, C., Grigoroudis, E., Kolokotsa, D. (2008). Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 40, 1747-1754. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.03.002.
- Domínguez, S., Sendra, J. J., León, A. L. y Esquivias, P. (2012). Towards energy demand reduction in social housing buildings: Envelope system optimization strategies. *Energies*, 5, 7, 2263-2287. DOI: 10.3390/en5072263.
- Elsharkawy, H., Rutherford, P. (2015). Retrofitting social housing in the UK: Home energy use and performance in a pre-Community Energy Saving Programme (CESP). *Energy and Buildings*, 88, 25-33. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.11.045.
- Filogamo, L., Peri, G., Rizzo, G., Giaccone, A. (2014). On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes. *Applied Energy*, 135, 825–835. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.04.002.
- Florio, P., Teissier, O. (2015). Estimation of the Energy Performance Certificate of a housing stock characterized via qualitative variables through a typology-based approach model: A fuel poverty evaluation tool. *Energy and Buildings*, 89, 39-48. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.024.
- Fracastoro, G. V., Serraino, M. (2011). A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications. *Energy and Buildings*, 43(4), 844–852. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.12.004.
- Guerra-Santin, O., Tweed, C. (2015). In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods. *Energy and Buildings*, 93, 189-207. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.02.042.
- Guerrero-Rubio, J.; Sendra, J. J.; Fernández-Agüera, J; Oteiza (2017). Test cell data-based predictive modelling to determine HVAC energy consumption for three façade solutions in Madrid. *Informes de la Construcción*, 69 (548), 1-14.
- Hargreaves, T., Nye, M., Burgess, J. (2010). Making energy visible: A qualitative field study of how householders interact with feedback from smart energy monitors. *Energy Policy*, 38, 6111-6119. DOI: 10.1016/j.enpol.2010.05.068.
- Heiple, S., Sailor, D. J. (2008). Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. *Energy and Buildings*, 40, 1426-1436. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.01.005.
- Howard, B., Parshall, L., Thompson, J., Hammer, S., Dickinson, J., Modi, V. (2012). Spatial distribution of urban building energy consumption by end use. *Energy and Buildings*, 45, 141–151. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.10.061.
- Jiménez Mata, J. (1986). Cádiz y su plan general de 1984. *Geometría: Revista Semestral De Arquitectura y Urbanismo*, 1, 12-27. ISSN: 0213-4780.
- Kavcic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), 1683–1697. DOI: 10.1016/j.buildenv.2010.01.021.
- León, A. L., Muñoz, S., León, J. y Bustamante, P. (2010). Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. *Informes de la Construcción*, 62, 519, 67-82. DOI: 10.3989/ic.09.045.

- León, A. L., Domínguez, S., Campano, M. A. y Ramírez-Balas, C. (2012). Reducing the energy demand of multi-dwelling units in Mediterranean climate using solar protection elements. *Energies*, 5, 9, 3398-3424. DOI: 10.3390/en5093398.
- Martínez-Hervás, M., Sendra, J. J., 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.
- Mastrucci, A., Baume, O., Stazi, F., Leopold, U. (2014). Estimating energy savings for the residential building stock of an entire city: A GIS-based statistical downscaling approach applied to Rotterdam. *Energy and Buildings*, 75, 358–367. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.02.032.
- Melo, A. P., Cóstola, D., Lamberts, R., Hensen, J. L. M. (2014). Development of surrogate models using artificial neural network for building shell energy labelling. *Energy Policy*, 69, 457–466. DOI: 10.1016/j.enpol.2014.02.001.
- Panayiotou, G. P., Kalogirou, S. A., Florides, G. A., et al. (2010). The characteristics and the energy behaviour of the residential building stock of Cyprus in view of Directive 2002/91/EC. *Energy and Buildings*, 42, 2083-2089. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.06.018.
- Pérez-Bella, J. M., Domínguez-Hernández, J., Cano-Suñén, E., del Coz-Díaz, J. J., Álvarez-Rabanal, F. P. (2015). A correction factor to approximate the design thermal conductivity of building materials. Application to Spanish façades. *Energy and Buildings*, 88, 153-164. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.005.
- Reinhart, C. F., Davila, C. C. (2016). Urban building energy modeling - A review of a nascent field. *Building and Environment*, 97, 196–202. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.12.001.
- Ríos García, J. M. (2005). La fábrica de doble hoja en Madrid, un siglo de cerramiento moderno. *Informes de la construcción*, 56, 495, 57-71. DOI: 10.3989/ic.2005.v57.i495.455.
- Rubio del Val, J., Molina Costa, P. (2010). Estrategias, retos y oportunidades en la rehabilitación de polígonos de vivienda construidos en España entre 1940 y 1980. *Ciudades*, 13, 15-37. ISSN: 1133-6579.
- Sakka, A., Santamouris, M., Livada, I., Nicol, F., Wilson, M. (2012). On the thermal performance of low income housing during heat waves. *Energy and Buildings*, 49, 69-77. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.023.
- Salmerón, J. M., Álvarez, S., Molina, J. L., Ruiz, A., Sánchez, F. J. (2013). Tightening the energy consumptions of buildings depending on their typology and on Climate Severity Indexes. *Energy and Buildings*, 58, 372-377. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.09.039.
- Sánchez, F. J., Álvarez, S., Molina, J. L., González, R. (2008). Climatic zoning and its application to Spanish building energy performance regulations. *Energy and Buildings*, 40, 1984-1990. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.05.006.
- Santamouris, M., Kapsis, K., Korres, D., Livada, I., Pavlou, C., Assimakopoulos, M.N. (2007). On the relation between the energy and social characteristics of the residential sector. *Energy and Buildings*, 39, 8, 893-905. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.11.001.
- Santamouris, M., et al. (2013). Financial crisis and energy consumption: A household survey in Greece. *Energy and Buildings*, 65, 477-487. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.06.024.
- Santamouris, M., et al. (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.

BIBLIOGRAFÍA

Sendra, J. J., Domínguez, S., Bustamante, P., León, A. L. (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.

Sousa, C., Pina, A., Davila, C. C., Reinhart, C. (2017). The use of multi-detail building archetypes in urban energy modelling. *Energy Procedia*, 111 (September 2016), 817–825. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.03.244.

Sunikka-Blank, M., Galvin, R. (2012). Introducing the rebound effect: the gap between performance and actual energy consumption. *Building Research and Information*, 40, 3, 260-273. DOI: 10.1080/09613218.2012.690952.

Swan, L. G., Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1819–1835. DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.033.

Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., Heggera, M. (2011). Statistical analysis of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, 43, 2422-2428. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.05.034.

Tso, G. K. F., Yau, K. K. W. (2007). Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks. *Energy*, 32(9), 1761–1768. DOI: 10.1016/j.energy.2006.11.010.

Tuominen, P., Holopainen, R., Lari, E., Jokisalo, J., Airaksinen, M. (2014). Calculation method and tool for assessing energy consumption in the building stock. *Building and Environment*, 75, 153-160. DOI: 10.1016/j.buildenv.2014.02.001.

Tweed, C. (2013). Socio-technical issues in dwelling retrofit. *Building Research and Information*, 41, 5, 551-562. DOI: 10.1080/09613218.2013.815047.

Zimmerman, A., Martin, M. (2001). Post-occupancy evaluation: benefits and barriers. *Building Research and Information*, 29, 2, 168-174. DOI: 10.1080/09613210010016857.

Textos normativos

Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HE1). Disponible en: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-01-documentos-reconocidos-cte/menu-registro-general-documentos-reconocidos-cte-dr.html>. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2017.

Decreto de 8 de septiembre de 1939 aprobando el Reglamento para la aplicación de la Ley de 19 de abril de 1939, de protección a la vivienda de renta reducida. Boletín Oficial del Estado, 2 de octubre de 1939, núm. 275, pp. 5506-5516.

Decreto de 24 de julio de 1955 por el que se aprueba el Reglamento para la aplicación de la Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de “viviendas de renta limitada”. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1955, núm. 197, pp. 4301-4314.

Decreto de 22 de noviembre de 1957 por el que se regula nueva categoría de “viviendas subvencionadas”. Boletín Oficial del Estado, 2 de diciembre de 1957, núm. 301, pp. 1213-1214.

Decreto 2131/1963, de 24 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la legislación sobre viviendas de protección estatal. Boletín Oficial del Estado, 6 de septiembre de 1963, núm. 214, pp. 13092-13098.

Decreto 2114/1968, de 24 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la aplicación de la Ley sobre Viviendas de Protección Oficial, texto refundido aprobado por Decretos 2131/1963, de 24 de julio, y 3964/1964, de 3 de diciembre. Boletín Oficial del Estado, 7 de septiembre de 1968, núm. 216, pp. 13024-13050.

Decreto 1490/1975, de 12 de junio de 1975, por el que se establecen medidas a adoptar en las edificaciones con objeto de reducir el consumo de energía. Boletín Oficial del Estado, 11 de julio de 1975, núm. 165, pp. 15001-15003.

Decreto-Ley de 19 de noviembre de 1948 por el que se modifica la Ley de 25 de noviembre de 1944 sobre viviendas bonificadas. Boletín Oficial del Estado, 13 de diciembre de 1948, núm. 348, pp. 5570-5573.

Decreto-Ley de 27 de noviembre de 1953 por el que se restablece la vigencia del de 19 de noviembre de 1948, sobre viviendas bonificables. Boletín Oficial del Estado, 12 de diciembre de 1953, núm. 346, pp. 7316-7317.

Decreto-Ley de 14 de mayo de 1954 por el que se encarga al Instituto Nacional de la Vivienda la ordenación de un plan de viviendas de “tipo social”. Boletín Oficial del Estado, 17 de junio de 1954, núm. 168, pp. 4094-4095.

Decreto-Ley de 29 de mayo de 1954 (rectificado) por el que se encomienda a la Obra Sindical del Hogar, en colaboración con el Instituto Nacional de la Vivienda, la realización de un Plan de construcción de veinte mil viviendas anuales para productores de la Organización Sindical. Boletín Oficial del Estado, 17 de junio de 1954, núm. 168, pp. 4096-4097.

Decreto-Ley de 3 de abril de 1956 por el que se adapta el de 14 de mayo de 1954 a la legislación de vivienda de “renta limitada” y se mejoran las características constructivas de las de “tipo social”. Boletín Oficial del Estado, 7 de mayo de 1956, núm. 128, pp. 2946-2947.

Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 004/8/CE y 2006/32/CE, 2012. Diario Oficial de la Unión Europea L 315, de 14 de noviembre de 2012, pp. 1-56.

Ministerio de Vivienda. (2010). *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. Ministerio de Vivienda. Madrid.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (2015). *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*. Madrid.

Junta de Andalucía. (2015). *Plan Integral de Fomento para el Sector de la Construcción y Rehabilitación Sostenible de Andalucía*.

Ley de 13 de junio de 1911 relativa a construcción de casas baratas. Gaceta de Madrid, 13 de junio de 1911, núm. 164, pp. 755-758.

Ley de 11 de diciembre de 1921 relativa a Casas baratas. Gaceta de Madrid, 11 de diciembre de 1921, núm. 345, pp. 858-866.

BIBLIOGRAFÍA

Ley de 25 de junio de 1935 dictando normas para remediar el paro obrero. Gaceta de Madrid, 26 de junio de 1935, núm. 177, pp. 2442-2446.

Ley de 19 de abril de 1939 estableciendo un régimen de protección a la vivienda de renta reducida y creando un Instituto Nacional de la Vivienda, encargado de su aplicación. Boletín Oficial del Estado, 20 de abril de 1939, núm. 110, pp. 2190-2198.

Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de viviendas de renta limitada. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1954, núm. 197, pp. 4834-4841.

Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. Boletín Oficial del Estado, 27 de junio de 2013, núm. 153, pp. 47964-48023.

Orden de 29 de enero de 1941 por la que se aprueba el Reglamento de Régimen Interior del Instituto Nacional de la Vivienda. Boletín Oficial del Estado, 13 de febrero de 1941, núm. 44, pp. 1014-1023.

Orden de 29 de febrero de 1944, por la que se determinan las condiciones higiénicas mínimas que han de reunir las viviendas. Boletín Oficial del Estado, 1 de marzo de 1944, núm. 61, pp. 1833-1834.

Orden de 12 de julio de 1955 por la que se aprueba el texto de las Ordenanzas técnicas y normas constructivas para viviendas de renta limitada. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1955, núm. 197, pp. 4321-4327.

Orden de 1 de febrero de 1958 por la que se desarrolla el Decreto de 24 de enero de 1958, por el que se extiende a toda España la nueva modalidad de “viviendas subvencionadas”, creadas en los artículos 10 y 11 de la Ley de 13 de noviembre de 1957. Boletín Oficial del Estado, 7 de febrero de 1958, núm. 33, pp. 196-200.

Orden por la que se aprueba la adaptación de las ordenanzas técnicas y normas constructivas, aprobadas por Ordenes de 12 de julio de 1955 y 22 de febrero de 1968 al texto refundido y revisado de la Legislación de Viviendas de Protección Oficial y su Reglamento. Boletín Oficial del Estado, 23 de mayo de 1969, núm. 123, pp. 7918-7923.

Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado, 12 de septiembre de 2013, núm. 219, pp. 67137-67209.

Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía” y el Documento Básico DB-HS “Salubridad”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 149, de 23 de junio de 2017, pág. 51621-51626.

Real Decreto-Ley de 10 de octubre de 1924 relativo a casas baratas. Gaceta de Madrid, 15 de octubre de 1924, núm. 289, pp. 258-265.

Real Decreto-Ley de 28 de julio de 1925 relativo a la construcción de casas económicas destinadas a la clase media. Gaceta de Madrid, 5 de agosto de 1925, núm. 217, pp. 842-846.

Real Decreto-Ley 1458/1927, de 15 de agosto, concediendo beneficios a las casas baratas que se construyen para los funcionarios del Estado, organismos autónomos independientes del mismo y empleados de la Real Casa. Gaceta de Madrid, 19 de agosto de 1927, núm. 231, pp. 1014-1015.

Real Decreto 2429/1979, de 8 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. Boletín Oficial del Estado, 22 de octubre de 1979, núm. 253, pp. 24524-24550.

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los Edificios. Sec. I. pp. 27548-27562.

Actas de congresos

Alonso, C., Martín-Consuegra, F., Olaya, M., Frutos, B. (Noviembre de 2015). User utility as the financial justification for low energy refurbishment. En *10th Conference on Advanced Building Skin. International- Energy Forum*. Congreso llevado a cabo en Berna, Suiza.

Fernández-Agüera, J., Sendra, J. J., Suárez, R., Domínguez-Amarillo, S., Oteiza, I. (Septiembre de 2015). Airtightness and indoor air quality in subsidised housing in Spain. En *36th AIVC Conference. 5th TightVent Conference. 3rd Venticool Conference*. Congreso llevado a cabo en Madrid, España.

Sendra, J. J., Domínguez-Amarillo, S. (Marzo de 2015). Estrategias de rehabilitación energética en la vivienda social del sur de Europa: riesgos y oportunidades. En *Patorreb 2015. 5ª Conferência sobre Patologia e Rehabilitação de Edifícios*. Congreso llevado a cabo en Oporto, Portugal.

Stevenson, F., Carmona-Andreu, I., Hancock, M. (2012). Designing for comfort-usability barriers in low carbon housing. En *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012*. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.

Tesis y Trabajos Fin de Máster

Martínez-Hervás, M. (2014). *Evaluación energética de la vivienda social en Cádiz (1940-1980) y potencial de mejora tras su rehabilitación*. Universidad de Sevilla, Sevilla.

Mosquera Adell, E., Pérez Escolano, V. (1991). *Racionalismo en Andalucía*. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla.

Páginas Web

#El Puerto de Santa María. Plan General de Ordenación Urbana de El Puerto de Santa María. URL: <http://www.elpuertodesantamaria.es/contenido/743/13996/plan-general-de-ordenacion-urbanistica>. Fecha de consulta: 30 de enero de 2017.

Agencia Andaluza de la Energía. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HEI). URL: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-01-documentos-reconocidos-cte/menu-registro-general-documentos-reconocidos-cte-dr.html>. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2017.

Ayuntamiento de Algeciras. Plan General de Ordenación Urbana de Algeciras. URL: <http://www.algeciras.es/es/temas/urbanismo-y-vivienda/delegacion-de-urbanismo/pgou/>. Fecha de consulta: 25 de enero de 2017.

BIBLIOGRAFÍA

Ayuntamiento de Cádiz. Plan General de Ordenación Urbana de Cádiz. URL: [http://institucional.cadiz.es/area/Plan%20General%20de%20Ordenaci%C3%B3n%20Urban%C3%ADstica%20\(PGOU\)/677](http://institucional.cadiz.es/area/Plan%20General%20de%20Ordenaci%C3%B3n%20Urban%C3%ADstica%20(PGOU)/677).

Fecha de consulta 25 de enero de 2017.

Ayuntamiento de #LaLinea. Plan General de Ordenación Urbana de La Línea de la Concepción. URL: <http://www.lalineas.es/portal/index.php/14-urbanismo/136-pgou>. Fecha de consulta: 22 de enero de 2017.

Descarga de ortofotografías y datos del territorio. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía. URL: <http://ws041.juntadeandalucia.es/medioambiente/dlidar/index.action#>. Fecha de consulta: 31 de agosto de 2015.

Google Maps. URL: <https://www.google.es/maps/>. Fecha de consulta: 27 de febrero de 2017.

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía. Consejería de Economía y Conocimiento. Junta de Andalucía. Datos Espaciales de Referencia de Andalucía (DERA). URL: <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/DERA/g17.htm>. Fecha de consulta: 27 de febrero de 2017.

Instituto Nacional de Estadística. URL: <http://www.ine.es/>. Fecha de consulta: 5 de febrero de 2015.

Leaflet. URL: <http://leafletjs.com/>. Fecha de consulta: 15 de abril de 2016.

Ministerio de Fomento. Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo (2017). Documento descriptivo climas de referencia. URL: [https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/20170202-DOC-DB-HE-0-Climas de referencia.pdf](https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/20170202-DOC-DB-HE-0-Climas%20de%20referencia.pdf). Fecha de consulta: 14 de agosto de 2017.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España. Análisis urbanístico de Barrios Vulnerables. Ministerio de Fomento. URL: https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/ARQ_VIVIENDA/SUELO_Y_POLITICAS/OBSERVATORIO/Analisis_urbano_Barrios_Vulnerables/. Fecha de consulta: 22 de enero de 2017.

OpenLayers. URL: <https://openlayers.org/>. Fecha de consulta: 15 de abril de 2016.

Portal de la Dirección General del Catastro. Gobierno de España. Ministerio de Hacienda y Función Pública. Secretaría de Estado de Hacienda. Dirección General del Catastro. URL: <http://www.catastro.minhap.gob.es/esp/productos.asp>. Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2015.

Proyecto E3 SoHo. URL: <http://www.e3soho.eu>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015.

Proyecto EEI-TABULA. URL: <http://www.five.es/component/content/article/579-tabula.html>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015.

Proyecto MUSIC. URL: <http://www.themusicproject.eu/>. Fecha de consulta: 17 de mayo de 2015.

Qgis2web. QGIS Python Plugins Repository. URL: <https://plugins.qgis.org/plugins/qgis2web/>. Fecha de consulta: 15 de abril de 2016.

San Fernando. Plan General de Ordenación Urbana de San Fernando. URL: <http://www.sanfernando.es/ayto/visor.asp?hidOptNav=1182>. Fecha de consulta: 31 de enero de 2017.

Sede Electrónica del Catastro. Dirección General del Catastro, Secretaría de Estado de Hacienda. Ministerio de Hacienda y Función Pública. Gobierno de España. URL: <https://www.sedecatastro.gob.es/>. Fecha de consulta: 27 de febrero de 2017.

Smart City Energy platform. URL: <http://iguess.list.lu/>. Fecha de consulta: 17 de mayo de 2015.

ZERO CARBON HUB, Closing the gap between designed and built performance. URL: www.zerocarbonhub.org. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2015.

LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

Listado de figuras

Fig. 5.1. Zonas climáticas de la provincia de Cádiz. 61

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en: Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HEI).

Fig. 5.2. Porcentaje de viviendas plurifamiliares construidas entre 1951 y 1980 en cada zona climática de la provincia de Cádiz. 61

Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Instituto Nacional de Estadística; y Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HEI).

Fig. 5.3. Número de viviendas construidas en los municipios de más de 50.000 habitantes de la zona climática A3 de la provincia de Cádiz. 62

Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Instituto Nacional de Estadística; y Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HEI).

Fig. 5.4. Evolución urbana de Algeciras. 64

Fuente: Ayuntamiento de Algeciras. Plan General de Ordenación Urbana de Algeciras.

Fig. 5.5. Crecimiento del término municipal de Cádiz. 67

Fuente: Jiménez Mata, J. (1986), p. 16.

Fig. 5.6. Evolución del crecimiento urbano de la Línea de la Concepción entre 1957 y 1977. 69

Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en: Descarga de ortofotografías y datos del territorio. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.

Fig. 5.7. Evolución del crecimiento urbano de El Puerto de Santa María entre 1957 y 1977.	72
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en: Descarga de ortofotografías y datos del territorio. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.	
Fig. 5.8. Evolución del crecimiento urbano de San Fernando entre 1957 y 1977.	74
Fuente: Elaboración propia a partir de la información contenida en: Descarga de ortofotografías y datos del territorio. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.	
Fig. 6.1. Identificación de barrios y promociones de vivienda social de Algeciras (1951-1980).	83
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la información contenida en: Portal de la Dirección General del Catastro.	
Fig. 6.2. Identificación de barrios y promociones de vivienda social de Cádiz (1951-1980).	84
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la información contenida en: Portal de la Dirección General del Catastro.	
Fig. 6.3. Identificación de barrios y promociones de vivienda social de La Línea de la Concepción (1951-1980).	85
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la información contenida en: Portal de la Dirección General del Catastro.	
Fig. 6.4. Identificación de barrios y promociones de vivienda social de El Puerto de Santa María (1951-1980).	86
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la información contenida en: Portal de la Dirección General del Catastro.	
Fig. 6.5. Identificación de barrios y promociones de vivienda social de San Fernando (1951-1980).	87
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la información contenida en: Portal de la Dirección General del Catastro.	
Fig. 6.6. Número de promociones de vivienda social identificadas en cada uno de los núcleos urbanos según su década de construcción.	89
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.7. Número de bloques de vivienda social identificados en cada uno de los núcleos urbanos según su década de construcción.	93
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.8. Número de viviendas sociales identificadas en cada uno de los núcleos urbanos según su década de construcción.	93
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.9. Número de viviendas sociales definidas con un nivel de detalle 1 y 2 según década de construcción.	95
Fuente: Elaboración propia.	

Fig. 6.10. Número de bloques de vivienda social definidos con un nivel de detalle I y 2 según década de construcción. 95

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.11. SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social. 111

Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.

Fig. 6.12. Evolución en el periodo de estudio del número de bloques por promoción. 113

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.13. Evolución en el periodo de estudio del número de viviendas por promoción. 113

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.14. Evolución en el periodo de estudio de la superficie construida por promoción. 113

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.15. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de bloques de cada tipología edificatoria. 115

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.16. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de viviendas según la tipología edificatoria del bloque en el que se encuentran. 115

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.17. Porcentaje de bloques en cada posición según su tipología edificatoria. 116

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.18. Evolución en el periodo de estudio del número de plantas de los bloques de viviendas de cada tipología edificatoria y relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 117

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.19. Evolución en el periodo de estudio del número de viviendas por bloque según la tipología edificatoria del bloque. 117

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.20. Evolución en el periodo de estudio de la superficie construida por bloque según la tipología edificatoria del bloque. 117

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.21. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de bloques con y sin locales comerciales en planta baja. 118

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.22. Porcentaje de longitud de fachada de los bloques en cada orientación según su tipología edificatoria. 118

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.23. Porcentaje de longitud de fachada de los bloques en cada orientación según el núcleo urbano en el que se encuentran.	119
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.24. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de bloques de cada tipología edificatoria.	120
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.25. Evolución en el periodo de estudio del número de plantas de los bloques de viviendas de cada tipología edificatoria y relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	121
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.26. Evolución en el periodo de estudio de la compacidad de los bloques de viviendas de cada tipología edificatoria y relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	121
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.27. Relación entre la superficie construida total de bloque y la superficie útil del bloque relativa a viviendas.	122
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.28. Porcentaje de huecos de fachada en cada orientación según la tipología edificatoria del bloque en el que se encuentran.	122
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.29. Relación entre la anchura y la altura de los huecos de las fachadas y su relación con el número de huecos (diámetro de la burbuja).	123
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.30. Evolución del porcentaje de bloques que tienen viviendas en planta baja En contacto con el terreno.	123
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.31. Evolución del porcentaje de viviendas con suelo en contacto con el terreno dentro de un bloque y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	123
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.32. Evolución del porcentaje de bloques con espacios no habitables en planta baja.	124
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.33. Evolución de la superficie de la envolvente de forjados en contacto con espacios no habitables inferiores según el uso del espacio no habitable.	124
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 6.34. Evolución del porcentaje de viviendas en contacto con espacios no habitables y su relación con el número de bloques que las contienen (diámetro de la burbuja).	125
Fuente: Elaboración propia.	

Fig. 6.35. Evolución del porcentaje de bloques que tienen suelos en contacto con el aire exterior. 125

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.36. Evolución del porcentaje de viviendas con suelo en contacto con el aire exterior y su relación con el número de bloques que las contienen (diámetro de la burbuja). 125

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.37. Porcentaje de bloques que tienen espacios no habitables en cubierta. 126

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.38. Evolución del porcentaje de viviendas según su número de dormitorios. ... 127

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.39. Evolución de la superficie útil de las viviendas según su número de dormitorios y su relación con el número de viviendas (diámetro de la burbuja). 127

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.40. Evolución de la altura libre de las plantas tipo de las viviendas y su relación con el número de viviendas (diámetro de la burbuja). 128

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.41. SIG de análisis de la configuración arquitectónica. 135

Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.

Fig. 6.42. Porcentaje de la superficie ocupada por cada uno de los sistemas constructivos que configuran la envolvente térmica según las diferentes combinaciones de éstas en los bloques de viviendas. 137

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.43. Evolución en el periodo de estudio de la superficie de la envolvente de fachada según el tipo de solución constructiva. 139

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.44. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de superficie de envolvente térmica de fachada de cada grupo de sistemas constructivos. 139

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.45. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de viviendas según el grupo de sistemas constructivos predominante en fachada. 140

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.46. Evolución en el periodo de estudio de los valores de la transmitancia térmica de las soluciones constructivas empleadas en fachada y su relación con la superficie de la envolvente (diámetro de la burbuja). 140

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 6.47. Evolución en el periodo de estudio de los valores de masa superficial de Las soluciones constructivas empleadas en fachada y su relación con la superficie de La envolvente (diámetro de la burbuja). 141

Fuente: Elaboración propia.

- Fig. 6.48. Evolución en el periodo de estudio de la superficie de la envolvente de cubierta según el tipo de solución constructiva.** 143
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.49. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de superficie de envolvente térmica de cubierta de cada tipo de sistema constructivo.** 143
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.50. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de bloques según si las cubiertas planas son o no transitables.** 143
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.51. Evolución en el periodo de estudio de los valores de la transmitancia térmica de las soluciones constructivas empleadas en cubierta y su relación con la superficie de la envolvente (diámetro de la burbuja).** 144
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.52. Evolución en el periodo de estudio de los valores de masa superficial de las soluciones constructivas empleadas en cubierta y su relación con la superficie de la envolvente (diámetro de la burbuja).** 144
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.53. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de superficie de envolvente térmica de huecos según su tipo de vidrios.** 145
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.54. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de superficie de envolvente térmica de huecos según su tipo de carpinterías.** 146
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.55. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de huecos según su protección solar.** 146
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.56. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje que, sobre el total de superficies de suelos en contacto con el exterior, se utilizan las diferentes soluciones constructivas.** 147
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.57. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje que, sobre el total de superficies de suelos en contacto con el terreno, se utilizan las diferentes soluciones constructivas.** 148
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.58. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje que, sobre el total de superficie de forjados en contacto con espacios no habitables inferiores, se utilizan las diferentes soluciones constructivas.** 149
Fuente: Elaboración propia.

- Fig. 6.59. Evolución en el periodo de estudio de los valores de la transmitancia térmica de las soluciones constructivas empleadas en forjados en contacto con espacios no habitables inferiores y su relación con la superficie de la envolvente (diámetro de la burbuja).** 149
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.60. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje que, sobre el total de superficies de particiones verticales en contacto con espacios no habitables, se utilizan las diferentes soluciones constructivas.** 150
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.61. Evolución en el periodo de estudio de los valores de la transmitancia térmica de las soluciones constructivas empleadas en particiones verticales en contacto con espacios no habitables y su relación con la superficie de la envolvente (diámetro de la burbuja).** 151
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 6.62. SIG de análisis de los sistemas constructivos empleados.** 159
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.
- Fig. 7.1. Zonas climáticas de la provincia de Cádiz.** 166
Fuente: Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HE1), p. 6.
- Fig. 7.2. Perfil de uso normalizado de los edificios de uso residencial.** 167
Fuente: CTE DB-HE1 2017, Apéndice C, Apartado C.1, p. 29.
- Fig. 7.3. Eficiencia de los sistemas de referencia.** 170
Fuente: CTE DB-HE0 2017, Apartado 4.3, p. 10.
- Fig. 7.4. Demanda de ACS de referencia a 60°C.** 170
Fuente: CTE DB-HE4 2017, Apartado 4.1, p. 53.
- Fig. 7.5. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.** 170
Fuente: CTE DB-HE4 2017, Apartado 4.1, p. 54.
- Fig. 7.6. Plantas de los bloques de viviendas elegidos como casos de estudio para los estudios previos a las simulaciones.** 172
Fuente: Elaboración propia a partir del proyecto original de la promoción de viviendas sociales “Loreto” de Cádiz, consultado en el Archivo Municipal de Cádiz, expediente 1970/94, caja 2742.
- Fig. 7.7. Promoción y bloques de viviendas elegidos como casos de estudio para los estudios previos a las simulaciones.** 173
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la información contenida en: Portal de la Dirección General del Catastro.
- Fig. 7.8. Comparativa de la influencia de las sombras propias en la simulación.** 174
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 7.9. Comparativa de la influencia de las sombras arrojadas en la simulación.** 175
Fuente: Elaboración propia.

Fig. 7.10. Comparativa de la influencia de las zonas comunes de los bloques de viviendas en la simulación.	176
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.11. SIG de evaluación energética.	181
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.	
Fig. 7.12. Evolución a lo largo del periodo de estudio del porcentaje de bloques según su calificación energética.	183
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.13. Evolución en el periodo de estudio de las calificaciones energéticas según la tipología edificatoria de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	183
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.14. Evolución en el periodo de estudio de las calificaciones energéticas según la posición de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	183
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.15. Evolución en el periodo de estudio de las calificaciones energéticas según la orientación predominante de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	184
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.16. Porcentaje de bloques y calificación energética media de los bloques de viviendas según su tipología edificatoria y posición.	184
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.17. Evolución en el periodo de estudio de las demandas medias de calefacción, refrigeración y totales según la tipología edificatoria de los bloques de viviendas.	185
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.18. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas totales según la tipología edificatoria de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	186
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.19. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas totales según la posición de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	187
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 7.20. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas totales según la orientación predominante de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja).	187
Fuente: Elaboración propia.	

Fig. 7.21. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas de calefacción según la tipología edificatoria de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 187

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 7.22. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas de refrigeración según la tipología edificatoria de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 188

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 7.23. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas de calefacción según la orientación predominante de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 188

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 7.24. Evolución en el periodo de estudio de las demandas energéticas de refrigeración según la orientación predominante de los bloques de viviendas y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 188

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.1. Posibles arquetipos del modelo de evaluación energética. 197

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.2. Influencia de la década de construcción de los bloques en la demanda energética total y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). . . 198

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.3. Influencia de la tipología edificatoria de los bloques en la demanda energética total y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). . . 199

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.4. Evolución en el periodo de estudio del porcentaje de bloques de cada tipología edificatoria. 199

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.5. Influencia de la posición de los bloques en la demanda energética total y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 199

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.6. Influencia de la orientación predominante de los bloques en la demanda energética total y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). . . 200

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.7. Influencia de la existencia o no de locales comerciales en planta baja de los bloques en la demanda energética total y su relación con el número de bloques (diámetro de la burbuja). 201

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.8. Representatividad de los arquetipos resultantes de la combinación de los datos categóricos *Tipología edificatoria* y *Posición de bloque*. 202

Fuente: Elaboración propia.

Fig. 8.9. Arquetipos resultantes de la combinación de los datos categóricos Tipología edificatoria, Posición de bloque y Orientación predominante, y tamaño de la muestra.	205
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 8.10. Arquetipos resultantes de la combinación de los datos categóricos Tipología edificatoria y Posición de bloque, y tamaño de la muestra.	206
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 8.11. Representación temporal de los residuos no estandarizados del arquetipo L_A.	216
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.12. Representación temporal de los residuos no estandarizados del arquetipo L_E.	216
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.13. Representación temporal de los residuos no estandarizados del arquetipo L_C.	216
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.14. Representación temporal de los residuos no estandarizados del arquetipo H_E.	217
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.15. Representación temporal de los residuos no estandarizados del arquetipo H_C.	217
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.16. Histograma de los residuos estandarizados del arquetipo L_A.	218
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.17. Histograma de los residuos estandarizados del arquetipo L_E.	218
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.18. Histograma de los residuos estandarizados del arquetipo L_C.	218
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.19. Histograma de los residuos estandarizados del arquetipo H_E.	219
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.20. Histograma de los residuos estandarizados del arquetipo H_C.	219
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.21. Diagrama de dispersión de los valores de los pronósticos estandarizados frente a los valores de los residuos estandarizados del arquetipo L_A.	220
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Fig. 8.22. Diagrama de dispersión de los valores de los pronósticos estandarizados frente a los valores de los residuos estandarizados del arquetipo L_E.	220
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	

- Fig. 8.23. Diagrama de dispersión de los valores de los pronósticos estandarizados frente a los valores de los residuos estandarizados del arquetipo L_C .** 220
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.
- Fig. 8.24. Diagrama de dispersión de los valores de los pronósticos estandarizados frente a los valores de los residuos estandarizados del arquetipo H_E .** 221
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.
- Fig. 8.25. Diagrama de dispersión de los valores de los pronósticos estandarizados frente a los valores de los residuos estandarizados del arquetipo H_C .** 221
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.
- Fig. 8.26. Relación entre la demanda total y la demanda de calefacción de los bloques de viviendas definidos con un nivel de detalle 2.** 222
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 8.27. Demanda de ACS de referencia a 60°C.** 224
Fuente: CTE DB-HE4 2017, Apartado 4.1, p. 53.
- Fig. 8.28. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.** 224
Fuente: CTE DB-HE4 2017, Apartado 4.1, p. 54.
- Fig. 8.29. Relación entre la superficie construida real y la superficie construida estimada de los bloques de viviendas definidos con un nivel de detalle 2.** 225
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 8.30. Relación entre la superficie construida estimada y la superficie útil habitable de los bloques de viviendas definidos con un nivel de detalle 2.** 226
Fuente: Elaboración propia.
- Fig. 9.1. SIG de aplicación del modelo de evaluación energética. Capa Demanda de calefacción predictiva.** 243
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.
- Fig. 9.2. SIG de aplicación del modelo de evaluación energética. Capa Demanda de refrigeración predictiva.** 245
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.
- Fig. 9.3. SIG de aplicación del modelo de evaluación energética. Capa Demanda total predictiva.** 247
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.
- Fig. 9.4. SIG de aplicación del modelo de evaluación energética. Capa Demanda de ACS predictiva.** 249
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.

Fig. 9.5. SIG de aplicación del modelo de evaluación energética. Capa Calificación energética predictiva.	251
Fuente: Elaboración propia a partir del software QGIS 2.18.4 y la biblioteca Java Script de código abierto Leaflet.	
Fig. 9.6. Evolución a lo largo del periodo de estudio del porcentaje de bloques según su calificación energética predictiva.	253
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 9.7. Porcentaje de bloques y calificación energética media predictiva de los bloques de viviendas según los arquetipos definidos en el modelo de evaluación energética.	253
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 9.8. Diagrama de cajas de las calificaciones energéticas predictivas obtenidas en cada uno de los arquetipos definidos en el modelo de evaluación energética.	253
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 9.9. Emisiones de CO₂ predictivas medias asociadas al servicio de calefacción, refrigeración y ACS según los arquetipos definidos en el modelo de evaluación energética.	254
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 9.10. Diagrama de cajas de las demandas energéticas totales predictivas de cada uno de los arquetipos definidos en el modelo de evaluación energética.	255
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 9.11. Diagrama de cajas de las demandas energéticas de calefacción predictivas de cada uno de los arquetipos definidos en el modelo de evaluación energética.	255
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. 9.12. Diagrama de cajas de las demandas energéticas de refrigeración predictivas de cada uno de los arquetipos definidos en el modelo de evaluación energética.	255
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. Al.1. Carpetas y archivo contenidos en el DVD y punto de descarga.	307
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. Al.2. Página principal de la Plataforma GIS.	308
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. Al.3. Definición de los niveles de detalle y los niveles de aproximación.	308
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. Al.4. Botones “Más info” y “Acceso SIG” de cada uno de los SIG desarrollados.	309
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. Al.5. Sección “Más info”	309
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. Al.6. Definición de las capas y botón “Datos en PDF”	309
Fuente: Elaboración propia.	

Fig. AI.7. Base de datos en PDF descargable.	310
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. AI.8. Flecha “atrás”	310
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. AI.9. Visualizador de los SIG.	311
Fuente: Elaboración propia.	
Fig. AI.10. Ventana emergente con toda la información del polígono seleccionado...	311
Fuente: Elaboración propia.	

Listado de tablas

Tabla 5.1. Número de viviendas construidas en los municipios de la provincia de Cádiz (Censo de población y viviendas de 2001).	59
Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Instituto Nacional de Estadística; y Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HEI).	
Tabla 5.2. Número de viviendas construidas en los municipios de más de 50.000 habitantes de la provincia de Cádiz (Censo de población y viviendas de 2011).	62
Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Instituto Nacional de Estadística; y Zonificación Climática de Andalucía por Municipios para su uso en el Código Técnico de la Edificación en su sección de Ahorro de Energía apartado de Limitación de Demanda Energética (CTE-HEI).	
Tabla 6.1. Barrios que componen cada núcleo urbano.	82
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.2. Promociones de vivienda social de cada uno de los núcleos urbanos construidas entre 1951 y 1980.	88
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.3. Número de barrios total y con promociones de vivienda social (1951-1980) de cada núcleo urbano.	89
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.4. Número de viviendas plurifamiliares totales y número de viviendas plurifamiliares sociales en el periodo (1951-1980).	93
Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Instituto Nacional de Estadística.	
Tabla 6.5. Promociones de vivienda social seleccionadas para la definición y análisis con un nivel de detalle 2.	94
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.6. Comparación del número de bloques definidos con un nivel de detalle 1 y 2 según su tipología edificatoria.	95
Fuente: Elaboración propia.	

Tabla 6.7. Relación de proyectos originales consultados en el Archivo Histórico Provincial de Cádiz.	100
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.8. Relación de proyectos originales consultados en el Archivo Histórico Municipal de Cádiz.	100
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.9. Estructura de la capa NI_Provincia.	102
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.10. Estructura de la capa NI_Núcleos urbanos.	102
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.11. Estructura de la capa NI_Barríos.	103
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.12. Estructura de la capa NI_Promociones.	103
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.13. Estructura de la capa NI_Bloques.	104
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.14. Estructura de la capa N2_Promociones.	105
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.15. Estructura de la capa N2_Bloques.	105
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.16. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Cubierta.	105
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.17. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Suelo en contacto con el exterior.	106
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.18. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Suelo en contacto con el terreno.	106
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.19. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Fachadas.	106
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.20. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Huecos.	107
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.21. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Partición vertical en contacto con espacio no habitable.	107
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.22. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Forjado en contacto con espacio no habitable inferior.	107
Fuente: Elaboración propia.	

Tabla 6.23. Estructura de la capa N2_Sistema constructivo_Forjado en contacto con espacio no habitable superior.	108
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.24. Estructura de la capa N2_Estructura.	108
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.25. Evolución del número y porcentaje de promociones de vivienda social identificadas.	112
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.26. Evolución del número y porcentaje de bloques de vivienda social identificados.	114
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.27. Evolución del número y porcentaje de bloques de vivienda social seleccionados para su definición con un nivel de detalle 2.	120
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.28. Estructura de la capa NI_N° de viviendas.	129
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.29. Estructura de la capa NI_Década de construcción.	130
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.30. Estructura de la capa NI_Tipología edificatoria.	130
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.31. Estructura de la capa NI_N° de plantas.	130
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.32. Estructura de la capa N2_Compacidad.	131
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.33. Estructura de la capa N2_Altura libre P. Tipo.	131
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.34. Clasificación de los bloques de viviendas según la existencia o no de los sistemas constructivos de forjados en contacto con espacios no habitables inferiores, suelos en contacto con el terreno y suelos en contacto con el exterior.	136
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.35. Soluciones constructivas empleadas en fachada.	138
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.36. Clasificación de las soluciones constructivas de fachada según el espesor de las fábricas de ladrillo y la existencia de cámara de aire.	138
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.37. Soluciones constructivas empleadas en cubierta.	142
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.38. Tipos de vidrios empleados en los huecos.	145
Fuente: Elaboración propia.	

Tabla 6.39. Tipos de carpinterías empleadas en los huecos.	145
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.40. Soluciones constructivas empleadas en suelos en contacto con el aire exterior.	147
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.41. Soluciones constructivas empleadas en suelos en contacto con el terreno.	148
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.42. Soluciones constructivas empleadas en forjados en contacto con espacios no habitables inferiores.	148
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.43. Soluciones constructivas empleadas en particiones verticales en contacto con espacios no habitables.	150
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.44. Estructura de la capa N2_Cubierta_Tipo.	153
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.45. Estructura de la capa N2_Cubierta_Transitabilidad.	153
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.46. Estructura de la capa N2_Fachada_Nº de hojas.	154
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.47. Estructura de la capa N2_Fachada_Porcentaje de huecos.	154
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.48. Estructura de la capa N2_Vidrio_Tipo.	154
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.49. Estructura de la capa N2_Carpintería_Tipo.	155
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 6.50. Estructura de la capa N2_Particiones en contacto con ENH_Tipo.	155
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.1. Modelos energéticos desarrollados para cada promoción de vivienda social definida con un nivel de detalle 2.	165
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.2. Datos climáticos de la estación meteorológica de Cádiz, periodo 1981-2010.	167
Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Guía resumida del clima de España. 2012; v3.0.	
Tabla 7.3. Comparativa de la influencia de las sombras propias en la simulación.	174
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.4. Comparativa de la influencia de las sombras arrojadas en la simulación. . .	175
Fuente: Elaboración propia.	

Tabla 7.5. Comparativa de la influencia de las zonas comunes de los bloques de viviendas en la simulación.	176
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.6. Estructura de la capa Calificación energética.	178
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.7. Estructura de la capa Demanda de calefacción.	178
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.8. Estructura de la capa Demanda de refrigeración.	179
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.9. Evolución a lo largo del periodo de estudio de la calificación energética media de los bloques de viviendas.	182
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 7.10. Número y porcentaje de bloques en cumplimiento con la limitación de la demanda energética establecida por el CTE-DB HEI 2017.	185
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 8.1. Datos cuantitativos disponibles con un nivel de detalle I.	195
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 8.2. Datos categóricos disponibles con un nivel de detalle I.	196
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 8.3. Porcentaje de bloques en cada orientación predominante de los arquetipos considerados resultantes de la combinación de los datos categóricos <i>Tipología edificatoria y Posición de bloque.</i>	203
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 8.4. Número de bloques que satisfacen las condiciones para poder aplicar el modelo de evaluación energética.	203
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 8.5. Resumen del modelo de evaluación energética para la propuesta de arquetipos I.	209
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Tabla 8.6. Resumen del modelo de evaluación energética para la propuesta de arquetipos 2.	211
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Tabla 8.7. Comparación de los resultados obtenidos en las dos propuestas de arquetipos.	212
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 8.8. Resumen del ANOVA del modelo.	213
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Tabla 8.9. Coeficientes de regresión parcial, intervalos de confianza y coeficientes de correlación parcial y semiparcial.	214
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	

Tabla 8.10. Estadísticas de los residuos.	215
Fuente: Elaboración propia a partir del software IBM SPSS Statistics v24.	
Tabla 8.11. Escala de calificación para edificios residenciales existentes situados en la zona climática A3.	232
Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (2015). <i>Calificación de la eficiencia energética de los edificios</i> . Madrid.	
Tabla 8.12. Escala de calificación para edificios residenciales existentes situados en la zona climática A3.	234
Fuente: Elaboración propia a partir de información contenida en: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (2015). <i>Calificación de la eficiencia energética de los edificios</i> . Madrid.	
Tabla 9.1. Estructura de la capa Demanda de calefacción predictiva.	238
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 9.2. Estructura de la capa Demanda de refrigeración predictiva.	239
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 9.3. Estructura de la capa Demanda total predictiva.	239
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 9.4. Estructura de la capa Demanda de ACS predictiva.	239
Fuente: Elaboración propia.	
Tabla 9.5. Estructura de la capa Calificación energética predictiva.	240
Fuente: Elaboración propia.	

**PLATAFORMA DIGITAL DE
SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

ANEXO I

Para la visualización de las bases de datos y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) generados, se ha creado una plataforma digital. Dicha plataforma es accesible desde el DVD adjunto a la presente tesis y desde el punto de descarga disponible en el enlace <https://hdvirtual.us.es/discovirt/index.php/s/mkHMh4bF6wxYMNs>, al cual se puede acceder con la contraseña “sigtesis”.

Tanto en el DVD como en el punto de descarga, encontramos diferentes carpetas y archivos (Fig. AI.1). Para la visualización de la plataforma digital únicamente es necesario abrir el archivo “Plataforma SIG.html” haciendo doble clic sobre él. Dicho archivo puede visualizarse a partir de cualquier navegador (Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox...).













<input type="checkbox"/> Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
 Mas info SIG Aplicacion modelo	29/10/2017 13:52	Carpeta de archivos	
 Mas info SIG Configuracion	29/10/2017 13:47	Carpeta de archivos	
 Mas info SIG Evaluacion Energetica	29/10/2017 13:49	Carpeta de archivos	
 Mas info SIG Identificacion	29/10/2017 13:44	Carpeta de archivos	
 Mas info SIG Sistemas Constructivos	29/10/2017 13:48	Carpeta de archivos	
 Plataforma SIG_files	29/10/2017 12:49	Carpeta de archivos	
 SIG Aplicacion modelo	29/10/2017 14:04	Carpeta de archivos	
 SIG Configuracion arquitectonica	28/10/2017 17:21	Carpeta de archivos	
 SIG Evaluacion energetica	28/10/2017 17:51	Carpeta de archivos	
 SIG Identificacion y definicion	28/10/2017 14:16	Carpeta de archivos	
 SIG Sistemas constructivos	28/10/2017 17:52	Carpeta de archivos	
 Plataforma SIG.html	29/10/2017 14:05	Chrome HTML Docu...	41 KB

Fig. AI.1. Carpetas y archivo contenidos en el DVD y punto de descarga

Al abrir el archivo “Plataforma SIG.html” nos encontramos con la página principal de la plataforma digital (Fig. AI.2).

PROGRAMA DE DOCTORADO DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Realizado por: MÓNICA MARTÍNEZ HERVÁS
Dirigido por: JUAN JOSÉ SENDRA SALAS
RAFAEL SUÁREZ MEDINA

GENERACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA A ESCALA URBANA PARA LA REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PARQUE RESIDENCIAL DE CIUDADES MEDITERRÁNEAS. APLICACIÓN A LA PROVINCIA DE CÁDIZ

Dentro de la tesis doctoral titulada “Generación de un modelo de evaluación energética a escala urbana para la rehabilitación sostenible del parque residencial de ciudades mediterráneas. Aplicación a la provincia de Cádiz” se llevan a cabo diferentes Sistemas de Información Geográfica (SIG) que ayudan a desarrollar y comprender diversas etapas de la tesis. Dichos SIG se muestran en la presente plataforma organizados por temáticas, mostrando su información desde diferentes niveles de detalle y de aproximación.

NIVELES DE DETALLE

NIVELES DE APROXIMACIÓN

SIG DE IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE PROMOCIONES DE VIVIENDA SOCIAL
Identifica todas las promociones de vivienda social con más de 200 viviendas construidas entre 1951 y 1980 en la provincia de Cádiz, concretamente en los núcleos urbanos de Algeciras, Cádiz, La Línea de la Concepción, El Puerto de Santa María y San Fernando. Además, define dichas promociones desde diferentes niveles de detalle y de aproximación.

SIG DE ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN ARQUITECTÓNICA
Analiza espacialmente diferentes aspectos de la configuración arquitectónica de las promociones de vivienda social identificadas y definidas en el “SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social”. Dichos análisis se llevan a cabo desde diferentes niveles de detalle y desde los niveles de aproximación *Promoción y Bloque de viviendas*.

SIG DE ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS EMPLEADOS
Analiza espacialmente diferentes aspectos de los sistemas constructivos empleados en las promociones de vivienda social definidas en el “SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social” con un nivel de detalle 2. Dichos análisis se llevan a cabo desde el nivel de aproximación *Bloque de viviendas*.

SIG DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA
Evalúa energéticamente las promociones de vivienda social definidas en el “SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social” con un nivel de detalle 2. Dicha evaluación se lleva a cabo desde el nivel de aproximación *Bloque de viviendas*.

SIG DE APLICACIÓN DEL MODELO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA
Aplica el modelo de evaluación energética en todas las promociones de vivienda social identificadas en el “SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social” con un nivel de detalle 1. Dicha evaluación se lleva a cabo desde el nivel de aproximación *Bloque de viviendas*.

Fig. AI.2. Página principal de la Plataforma GIS

En dicha página principal, haciendo clic en “NIVELES DE DETALLE” y “NIVELES DE APROXIMACIÓN” encontramos la descripción de estos niveles, los cuales se han tenido en cuenta para la elaboración de los diferentes SIG (Fig. AI.3).

NIVELES DE DETALLE

Nivel de detalle 1: se proporciona información general de fácil acceso a través de Internet, como puede ser información facilitada por la Sede Electrónica del Catastro o Google Maps.

Nivel de detalle 2: se proporciona información detallada obtenida de diferentes fuentes de información, como por ejemplo los proyectos originales de las promociones de vivienda social o diversa bibliografía.

NIVELES DE APROXIMACIÓN

Provincia: representa la menor escala de aproximación. En él se define y analiza la provincia de Cádiz con un nivel de detalle 1.

Núcleo urbano: se definen y analizan los núcleos urbanos de Algeciras, Cádiz, La Línea de la Concepción, El Puerto de Santa María y San Fernando con un nivel de detalle 1.

Barrio: se identifican cada uno de los barrios que contienen los núcleos urbanos, acojan o no en su interior promociones de vivienda social, definiéndose únicamente los que sí contienen promociones de vivienda social con un nivel de detalle 1.

Promoción: se identifican, definen y analizan las promociones de vivienda social en cada uno de los núcleos urbanos con un nivel de detalle 1, junto con una selección de promociones de vivienda social con un nivel de detalle 2.

Bloque de viviendas: supone la mayor escala de aproximación. En él se definen y analizan cada uno de los bloques de viviendas contenidos en las promociones de vivienda social identificadas con un nivel de detalle 1, y los bloques contenidos en una selección de promociones de vivienda social con un nivel de detalle 2.

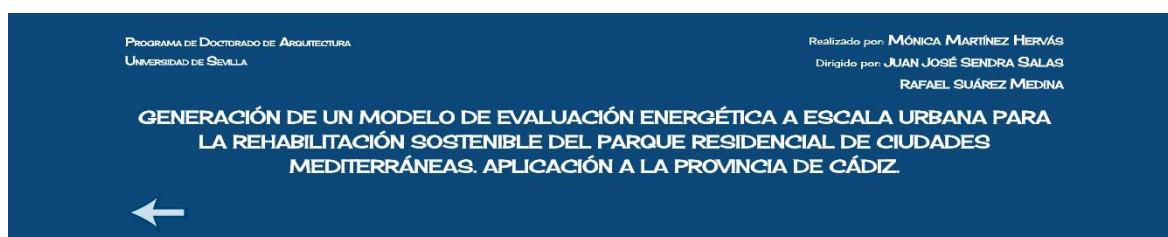
Fig. AI.3. Definición de los niveles de detalle y los niveles de aproximación

Además, en esta página principal se incluye una pequeña descripción de cada uno de los SIG elaborados, encontrando dos botones para cada uno de ellos: “Más info” y “Acceso SIG” (Fig. AI.4).



Fig. AI.4. Botones “Más info” y “Acceso SIG” de cada uno de los SIG desarrollados

En el apartado “Más info” de cada uno de los SIG, encontramos una definición más extensa del SIG seleccionado (Fig. AI.5).



SIG DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA

En este SIG se evalúan energéticamente las promociones de vivienda social definidas en el “SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social” con un nivel de detalle 2.

La evaluación energética de estas promociones de vivienda social se realiza desde el nivel de detalle 2 (N2) para una selección de promociones de vivienda social. Asimismo, dicha definición se lleva a cabo a partir del nivel de aproximación *Bloque de viviendas*.

El SIG está compuesto por diferentes capas, las cuales se pueden apreciar en una leyenda ubicada en la parte derecha del visualizador SIG, en la que podemos seleccionar o deseleccionar la capa que se desee visualizar. Cada una de estas capas contiene diversa información alfanumérica, la cual se define a continuación, pudiéndose descargar en formato PDF.

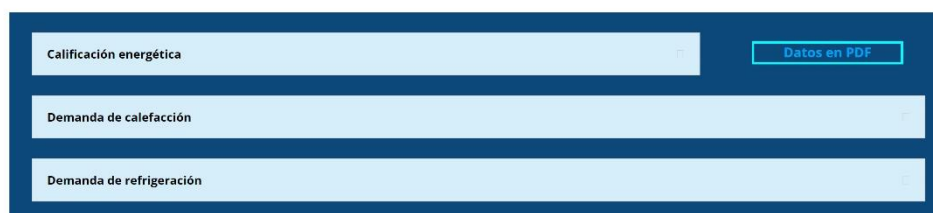


Fig. AI.5. Sección “Más info”

Asimismo, en esta sección “Más info” se definen cada una de las capas que componen cada SIG, mostrando una definición de todos los campos contenidos en cada capa al hacer clic sobre el nombre de cada una de ellas (Fig. AI.6). Además, todas las capas dedicadas al almacenamiento de datos informativos tienen asociado un botón denominado “Datos en PDF”, desde el cual se puede visualizar y descargar en una nueva ventana todos los datos contenidos en dicha capa (Fig. AI.7).

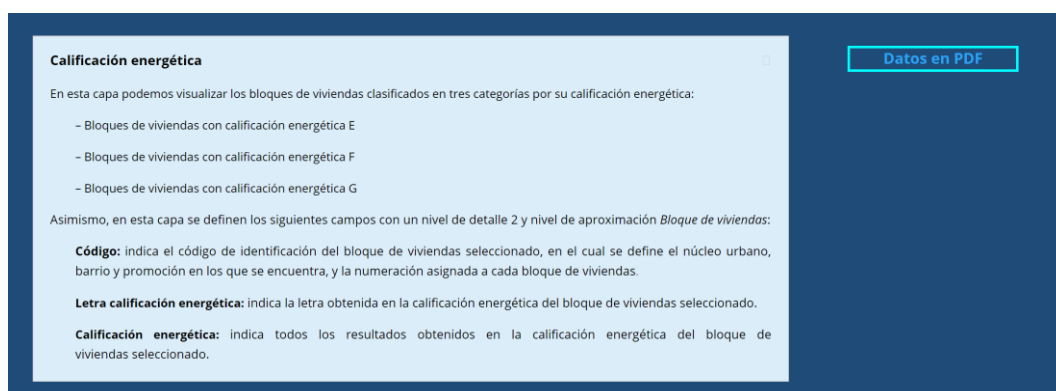


Fig. AI.6. Definición de las capas y botón “Datos en PDF”

Calificacion energetica.pdf 1 / 15

GENERACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN ENERGÉTICA A ESCALA URBANA PARA LA REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PARQUE RESIDENCIAL DE CIUDADES MEDITERRÁNEAS. APLICACIÓN A LA PROVINCIA DE CÁDIZ.

EDIFICIO ENERGÉTICO

Código	Calificación energética (kgCO ₂ /m ²)	Demanda de calefacción (kWh/m ²)	Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	Demanda total (kWh/m ²)	Emissiones de calefacción (kgCO ₂ /m ²)	Emissiones de refrigeración (kgCO ₂ /m ²)	Emissiones de ACS (kgCO ₂ /m ²)
AL_07_02_001	20.1 E	27.7 E	14.6 D	42.3	7.6 E	2.4 C	10.1 G
AL_07_02_002	20.1 E	27.7 E	14.6 D	42.3	7.6 E	2.4 C	10.1 G
AL_07_02_003	22.3 E	31.5 E	12.1 C	43.6	8.6 E	2.0 B	11.7 G
AL_07_02_004	21.5 E	32.5 E	15.0 D	47.5	8.9 E	2.5 C	10.1 G
AL_07_02_005	21.5 E	32.6 E	14.9 D	47.5	8.9 E	2.5 C	10.1 G
AL_07_02_006	21.5 E	32.5 E	15.0 D	47.5	8.9 E	2.5 C	10.1 G
AL_07_02_007	21.5 E	32.6 E	14.9 D	47.5	8.9 E	2.5 C	10.1 G
AL_07_02_008	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_009	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_010	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_011	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_012	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_013	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_014	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_015	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_07_02_016	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_10_04_001	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_10_04_002	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_10_04_003	23.1 E	32.2 E	15.9 D	48.1	8.8 E	2.6 C	11.7 G
AL_10_04_004	23.8 E	34.1 E	14.4 D	48.5	9.3 E	2.4 C	12.1 G
AL_10_04_005	23.8 E	34.1 E	14.4 D	48.5	9.3 E	2.4 C	12.1 G
AL_10_04_006	23.9 E	34.4 E	14.6 D	49.0	9.4 E	2.4 C	12.1 G
AL_10_04_007	22.9 E	34.6 E	15.6 D	50.2	9.5 E	2.6 C	10.8 G
AL_10_04_008	24.1 E	37.5 E	13.3 C	50.8	10.3 E	2.2 B	11.7 G
AL_10_04_009	22.5 E	35.3 E	15.6 D	50.9	9.7 E	2.6 C	10.2 G
AL_10_04_010	22.5 E	35.3 E	15.6 D	50.9	9.7 E	2.6 C	10.2 G
AL_10_04_011	22.5 E	35.3 E	15.6 D	50.9	9.7 E	2.6 C	10.2 G

Fig. Al.7. Base de datos en PDF descargable

Para volver a la página principal desde la sección de “Más info” de cada uno de los SIG, se debe hacer clic sobre la flecha “atrás” situada arriba a la izquierda (Fig. Al.8).

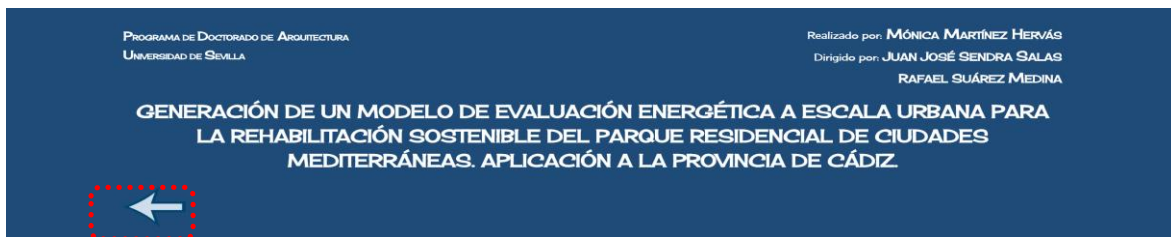


Fig. Al.8. Flecha “atrás”

Volviendo a la página principal, si hacemos clic en el botón “Acceso SIG” de cada uno de los SIG, se abrirá una nueva ventana en la que podemos visualizar cada uno de los SIG desarrollados para la presente tesis (Fig. Al.9). Para desplazarnos sobre estos SIG se debe mantener pulsado el clic izquierdo, mientras que para hacer uso del zoom se puede utilizar la rueda del ratón o utilizar los botones situados arriba a la izquierda de cada SIG. En la parte derecha se puede visualizar la leyenda de las capas que componen los SIG, pudiendo activar o desactivar la visualización de cada una de ellas haciendo clic sobre el nombre de cada capa.

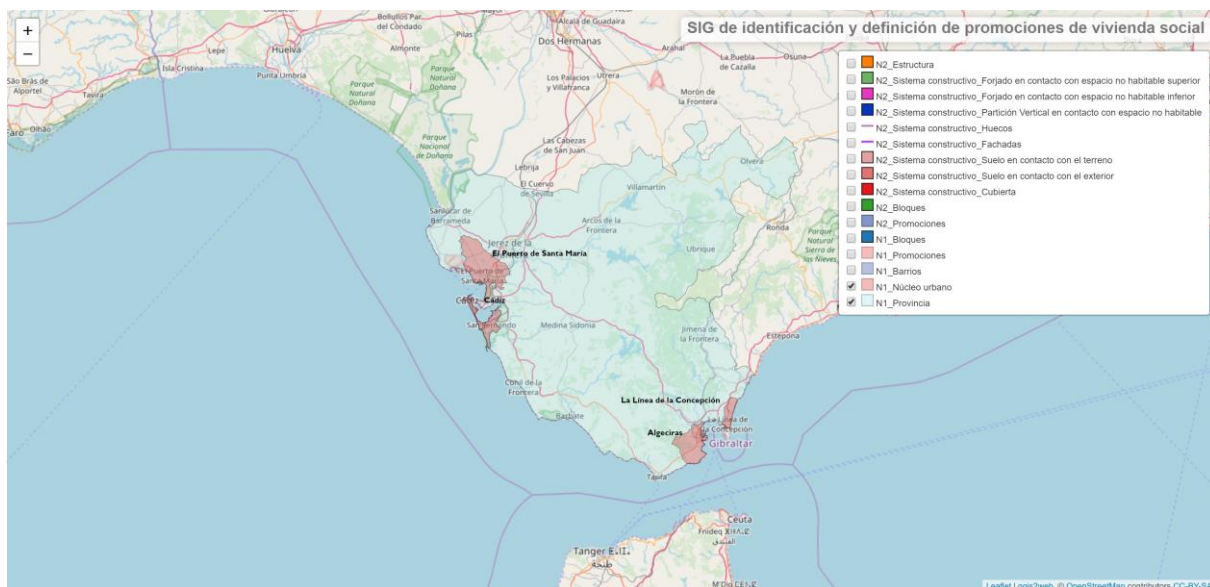


Fig. AI.9. Visualizador de los SIG

Para seleccionar el polígono deseado y del cual se quiera obtener información, se debe hacer clic sobre él, abriéndose instantáneamente una ventana emergente donde se recoge toda la información disponible sobre el polígono seleccionado (Fig. AI.10). Si, por el contrario, se quiere obtener la información de todos los polígonos de una capa de manera conjunta, se debe consultar las bases de datos contenidas en la sección “Más info” de cada uno de los SIG desarrollados.

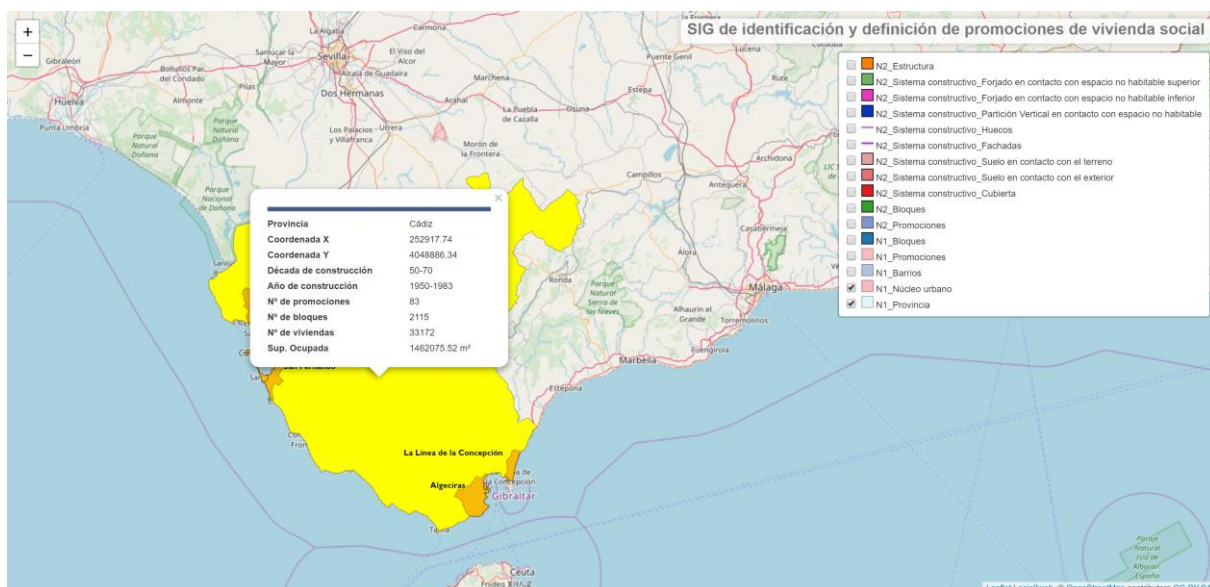


Fig. AI.10. Ventana emergente con toda la información del polígono seleccionado

Cabe destacar que, en la capa “N2_Promociones” del “SIG de identificación y definición de promociones de vivienda social”, se incluye un campo denominado “Documentación gráfica” con un enlace desde el que se pueden descargar diferentes archivos, utilizando para ello la contraseña “sigtesis”.

**REGÍMENES DE LAS
VIVIENDAS SOCIALES (1951-1980)**

ANEXO II

Entre los años 1951 y 1980 podemos encontrar seis tipos de regímenes de viviendas sociales. Esta clasificación corresponde a una simplificación de los regímenes de viviendas que podemos encontrar en la época^{1, 2}.

Viviendas protegidas³

La definición de vivienda protegida, recogida en la normativa reseñada, es aquella que “siendo de renta reducida y estando incluida en los planes generales formulados por el Instituto Nacional de Vivienda (I.N.V.) se construyan con arreglo a proyectos que hubiesen sido redactados u oficialmente aprobados por éste, por reunir las condiciones higiénicas, técnicas y económicas determinadas con las ordenanzas comarcales que se dicten al efecto”.

- **CONDICIONES PARA SER BENEFICIARIO:** “Ser español, mayor de edad, dedicarse a un oficio, empleo o profesión liberal, o ser pensionista del Estado”.
- **BENEFICIOS ECONÓMICOS:**
 - Directos: anticipos sin interés y primas a la construcción.
 - Indirectos: bonificaciones fiscales y tributarias y de expropiación forzosa.
- **DURACIÓN DEL RÉGIMEN:** 20 años a partir de la calificación definitiva del I.N.V.
- **RÉGIMEN:** adquirir en venta o alquiler.

¹ Moya González, L., Esquiaga Domínguez, J. M., & Ingles Musoles, F. (1983). *Barrios de promoción oficial: Madrid 1939-1976: La política de promoción pública de vivienda*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. ISBN: 978-8-48557-245-8.

² Villar Ezcurra, J. L. (1981). *La protección pública a la vivienda*. Madrid: Montecorvo. ISBN: 84-711-1169-1.

³ Ley de 19 de abril de 1939 estableciendo un régimen de protección a la vivienda de renta reducida y creando un Instituto Nacional de la Vivienda, encargado de su aplicación. Boletín Oficial del Estado, 20 de abril de 1939, núm. 110, pp. 2190-2198.

Viviendas bonificables⁴

- **CONDICIONES PARA SER BENEFICIARIO:** no se exige ningún requisito especial para ser beneficiario.
- **BENEFICIOS ECONÓMICOS:**
 - Directos: préstamos y primas a fondo perdido y subvenciones.
 - Indirectos: beneficios tributarios, de expropiación forzosa y de preferencia para la adquisición de materiales.
- **DURACIÓN DEL RÉGIMEN:** 20 años a partir de su aprobación definitiva.
- **RÉGIMEN:** de arrendamiento, aunque podían ser objeto de uso propio o venta.

Viviendas de tipo social⁵

- **CONDICIONES PARA SER BENEFICIARIO:** no se exige ningún requisito especial para ser beneficiario.
- **BENEFICIOS ECONÓMICOS:**
 - Directos: anticipos de hasta un 80 por 100 del coste sin interés y amortizable en 50 años. El 20 por 100 restantes lo pagaba el constructor o el propio beneficiario.
 - Indirectos: bonificaciones fiscales y tributarias y de expropiación forzosa.
- **DURACIÓN DEL RÉGIMEN:** 20 años a partir de su aprobación definitiva.

Viviendas de renta reducida y mínima⁶

Se clasifican en cuatro categorías:

- 1ª Categoría: superficie de 100 m².
 - 2ª Categoría: superficie de 90 m².
 - 3ª Categoría: superficie de 80 m².
 - 4ª Categoría: superficie de 74 m².
- **CONDICIONES PARA SER BENEFICIARIO:** estar encuadrados en la Organización Sindical.

⁴ Decreto-Ley de 19 de noviembre de 1948 por el que se modifica la Ley de 25 de noviembre de 1944 sobre viviendas bonificadas. Boletín Oficial del Estado, 13 de diciembre de 1948, núm. 348, pp. 5570-5573.

Decreto-Ley de 27 de noviembre de 1953 por el que se restablece la vigencia del de 19 de noviembre de 1948, sobre viviendas bonificables. Boletín Oficial del Estado, 12 de diciembre de 1953, núm. 346, pp. 7316-7317.

⁵ Decreto-Ley de 14 de mayo de 1954 por el que se encarga al Instituto Nacional de la Vivienda la ordenación de un plan de viviendas de “tipo social”. Boletín Oficial del Estado, 17 de junio de 1954, núm. 168, pp. 4094-4095.

Decreto-Ley de 3 de abril de 1956 por el que se adapta el de 14 de mayo de 1954 a la legislación de vivienda de “renta limitada” y se mejoran las características constructivas de las de “tipo social”. Boletín Oficial del Estado, 7 de mayo de 1956, núm. 128, pp. 2946-2947.

⁶ Decreto-Ley de 29 de mayo de 1954 (rectificado) por el que se encomienda a la Obra Sindical del Hogar, en colaboración con el Instituto Nacional de la Vivienda, la realización de un Plan de construcción de veinte mil viviendas anuales para productores de la Organización Sindical. Boletín Oficial del Estado, 17 de junio de 1954, núm. 168, pp. 4096-4097.

- **BENEFICIOS ECONÓMICOS:**
 - Indirectos: bonificaciones fiscales y tributarias y de expropiación forzosa.
- **DURACIÓN DEL RÉGIMEN:** 20 años a partir de su aprobación definitiva.

Viviendas de renta limitada⁷

Las Viviendas de renta limitada se definían como “las que estando incluidas en los Planes Generales formulados al efecto se construyan con arreglo a proyecto o anteproyecto aprobado por el I.N.V. por reunir condiciones que se señalan en el reglamento o en las ordenanzas que se dicten para ello”.

Las Viviendas de renta limitada se clasifican en:

- 1^{er} Grupo: solo beneficios indirectos.
- 2^o Grupo: beneficios directos e indirectos. Se clasifican en:
 - 1^a Categoría: superficie de 80-200 m².
 - 2^a Categoría: superficie de 64-150 m².
 - 3^a Categoría: superficie de 50-80 m².
- **CONDICIONES PARA SER BENEFICIARIO:** no se exige ningún requisito especial para ser beneficiario, aunque existen limitaciones de uso y destino.
- **BENEFICIOS ECONÓMICOS:**
 - Directos:
 - Anticipos reintegrables a largo plazo.
 - Préstamos complementarios.
 - Primas a la construcción con la prestación personal de sus propios usuarios.
 - Indirectos:
 - Exenciones y bonificaciones tributarias.
 - Expropiación forzosa.
- **DURACIÓN DEL RÉGIMEN:** 20 años a partir de su aprobación definitiva.
- **RÉGIMEN:** se contempla la posibilidad de que puedan ser cedidas gratuitamente, en alquiler o venderse al contado.

⁷ Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de viviendas de renta limitada. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1954, núm. 197, pp. 4834-4841.

Decreto de 24 de julio de 1955 por el que se aprueba el Reglamento para la aplicación de la Ley de 15 de julio de 1954 sobre protección de “viviendas de renta limitada”. Boletín Oficial del Estado, 16 de julio de 1955, núm. 197, pp. 4301-4314.

Viviendas subvencionadas⁸

Dentro del régimen de Viviendas de Renta Limitada se crean las Viviendas Subvencionadas.

- **BENEFICIOS ECONÓMICOS:**
 - Directos:
 - Anticipos reintegrables a largo plazo.
 - Préstamos complementarios.
 - Primas a la construcción con la prestación personal de sus propios usuarios.
 - Indirectos:
 - Exenciones y bonificaciones tributarias.
 - Expropiación forzosa.
 - Preferencia de materiales.

Además de estos beneficios, se tenía el derecho a percibir una subvención a fondo perdido, y su renta se fijaba en función de la superficie útil, que se adaptaba cada año a las variaciones del costo de vida mediante Decreto del Consejo de Ministros, que aplicaba de modo automático el índice fijado por la Dirección General de Estadística.

- **RÉGIMEN:** pueden ser de uso propio, en alquiler y venta.

⁸ Decreto de 22 de noviembre de 1957 por el que se regula nueva categoría de “viviendas subvencionadas”. Boletín Oficial del Estado, 2 de diciembre de 1957, núm. 301, pp. 1213-1214.

Orden de 1 de febrero de 1958 por la que se desarrolla el Decreto de 24 de enero de 1958, por el que se extiende a toda España la nueva modalidad de “viviendas subvencionadas”, creadas en los artículos 10 y 11 de la Ley de 13 de noviembre de 1957. Boletín Oficial del Estado, 7 de febrero de 1958, núm. 33, pp. 196-200.

