



Received: 16-02-2019  
Accepted: 17-03-2019

## Rehabilitación energética de viviendas en España: confort térmico y efectividad. Energy rehabilitation of homes in Spain: thermal comfort and effectiveness.

Pablo Xosé Fernández, Carlos Rubio, Francisco Javier Guevara

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universidad de Sevilla.  
(carlosrubio@us.es; guevara@us.es)

**Resumen**— El objetivo de esta investigación es proponer una nueva contabilidad energética que permita valorar aquellas medidas de rehabilitación más adecuadas en bloques de viviendas considerando diversos factores de confort, energéticos, económicos, sociales y medioambientales. El caso de estudio es un edificio residencial en bloque de 30 viviendas, construido durante en 1960 en España, habitado por familias de rentas bajas. Las características de la envolvente son representativas del parque edificado, con fachadas de una hoja de ladrillo macizo, carpinterías de aluminio y vidrio sencillo, sin sistemas de aislamiento térmico y los puentes térmicos habituales. El análisis se centra en tres zonas climáticas representativas para severidad climática de invierno (León), verano (Sevilla), e intermedia (Barcelona); definiendo 8 medidas pasivas individuales (sellados, toldos, carpinterías, SATE, fachada y cubierta vegetal) y 12 medidas combinadas con instalaciones (solar térmica, bomba de calor, biomasa, aerotermia, condensación centralizada).

**Palabras clave**— Rehabilitación energética; diseño pasivo; confort; efectividad.

**Abstract**— The objective of this research is to propose a new energy accounting that allows assessing the most appropriate rehabilitation measures in housing blocks considering various comfort, energy, economic, social and environmental factors. The case study is a residential block building of 30 houses, built during 1960 in Spain, inhabited by low-income families. The characteristics of the envelope are representative of the built-up park, with facades of a solid brick sheet, aluminum joinery and simple glass, without thermal insulation systems and the usual thermal bridges. The analysis focuses on three representative climatic zones for climatic severity of winter (León), summer (Seville), and intermediate (Barcelona); defining 8 passive individual measures (sealed, awnings, carpentry, SATE, facade and green roof) and 12 measures combined with facilities (solar thermal, heat pump, biomass, aerothermy, centralized condensation).

**Index Terms**— Energy rehabilitation; passive design; comfort; effectiveness.

### I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación expone los resultados desarrollados en el Proyecto Fin de Grado “Propuestas de

rehabilitación energética de viviendas en España. Confort y efectividad”, 2017 (Fernández, 2017).

El planteamiento inicial de la investigación reside en la necesidad de considerar la aplicación de estrategias pasivas en

la edificación como el primer paso en el uso racional de la energía y la mejora de las condiciones de confort en nuestras viviendas (Manzano et al., 2015), que deberán adaptarse a las severidades climáticas de invierno y verano; y que necesitarán combinarse con otras estrategias activas consumidoras de energía.

El uso o mal uso de la energía es un problema reciente que comenzó a tomarse en consideración del pasado siglo XX, durante los años 70 con la primera crisis del petróleo, y que se mantiene en la actualidad con tensiones geopolíticas a lo largo de todo el mundo.

El consumo de esta energía se distribuye en diferentes vectores energéticos, habitualmente clasificados en los sectores de industria, transporte, servicios y residencial. Se considera que la demanda energética del sector de la edificación supone un 32,9% de la energía primaria de todos los sectores (Greenpeace, 2011); siendo este último sector el que requiere nuestro interés en el presente estudio.

De modo paralelo a esta creciente demanda, ha comenzado a surgir paulatinamente una preocupación por el ahorro de energía, que tradicionalmente ha liderado la Unión Europea. No será hasta el año 1997 cuando en el ámbito internacional se establezcan las bases para una reducción energética en el Protocolo de Kyoto (Naciones Unidas, 1997), que derivaría en Europa en la Directiva 2002/91/CE, “Energy Performance of Buildings Directive, EPBD” (Unión Europea, 2002), actualizada por las directrices 244/2012, EPBD recast (Unión Europea, 2012).

El objetivo principal es reducir el consumo energético un 20% para el año 2020, un compromiso de la Unión Europea planteado en tres líneas (objetivo 20-20-20) que incluye: Reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI); Ahorrar un 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética y Aumentar el uso de las energías renovables hasta el 20%.

Para el caso de la reducción de energía en el sector de la edificación, es necesario considerar que el éxito de las

diferentes medidas de ahorro depende de su aplicabilidad y viabilidad económica. Esta idea ya se encuentra recogida en el Documento de la Unión Europea “Supplementing Directive 2010/31/EU” (Unión Europea, 2010), que establece que cada estado debe definir un marco metodológico que permita calcular y comparar los niveles más adecuados de rentabilidad.

Para el caso de intervenciones en los edificios existentes, las soluciones constructivas a adoptar difieren respecto a las planteadas para edificios de nueva construcción, por lo que necesitan de un análisis específico.

Estos niveles de rentabilidad dependen principalmente de la severidad climática, con un amplio espectro climatológico a lo largo de los países de la Unión Europea, y también en el caso concreto de España, que posee 12 zonas climática definidas (Ministerio de Fomento, 2013); esto obliga a realizar análisis comparativos para las diferentes áreas, como ya se recoge en diferentes estudios publicados al amparo de la Unión Europea, ASIEPI (Unión Europea, 2009a), BPIE (BPIE, 2018), TABULA (Unión Europea, 2009b).

Respecto al uso de estrategias pasivas, o estrategias de la arquitectura tradicional “del sentido común”, y la adaptabilidad de la vivienda a las condiciones climáticas, es necesario considerar que éstas han sido desarrolladas en períodos anteriores al desarrollo industrial en el s. XIX, mediante una adaptación del ser humano al entorno (Rubio et al., 2015) utilizando los materiales disponibles (Fig. 1). A partir de Revolución Industrial la vivienda se ha universalizado, debido a la estandarización de los sistemas constructivos, el desarrollo de la industria del hormigón, la industrialización, y la mayor disponibilidad de materiales; ha sido esta globalización arquitectónica la que permite la construcción un bloque de viviendas de características similares en Beijín, Moscú, Lisboa o Buenos Aires, independientemente de las condiciones del entorno.

Esta homogenización del diseño ha generado sistemas constructivos similares para zonas climáticas totalmente diferentes; pero también es necesario mencionar que los



Fig. 1. Estrategias diferentes para climas diferentes, entornos rural y urbano (Os Ancares, Galiza; Sevilla).

requisitos de confort que exigimos a nuestras viviendas en la actualidad nada o poco tienen que ver con los exigidos el siglo pasado, y para los que algunas de las estrategias pasivas o bioclimáticas no son suficientes. Esto obliga a desarrollar nuevos aspectos y tecnologías. Sin embargo, éste sí que es el primer paso obligado, el considerar el diseño bioclimático adaptado al entorno de nuestros edificios.

Algunas de estas exigencias se han traspuesto en España con la aprobación del Código Técnico de la Edificación, mediante el Real Decreto 314/2006 (Ministerio de Vivienda, 2006), y la actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios, RITE, en el Real Decreto 1027/2007 (Ministerio de Industria, 2007).

Previsiblemente, durante el año 2018, dará a la luz un nuevo CTE que endurecerá los criterios constructivos para la mejora de la calidad constructiva y térmica en España, planteando nuevos objetivos hacia los edificios nZEB (nearly zero-energy buildings) o ECCN (edificio consumo casi nulo), impulsado por la Directiva 2010/31/UE. En España este estándar se encuentra todavía pendiente de definir, pero probablemente será de un edificio similar al de uno de clase A en la escala de etiquetado energético.

Respecto a esta nueva revisión del documento de ahorro de energía CTE-HE en España, se han avanzado algunos aspectos en el “Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE” (Ministerio de Fomento, 2016), y que modificará la forma en que justificamos la eficiencia energética en la actualidad. Esta nueva “contabilidad energética” modificará los indicadores de demanda de calefacción y refrigeración por nuevos coeficientes globales de pérdidas por transmisión y de captación de radiación solar.

Los nuevos parámetros energéticos se recogen en la siguiente figura 2, publicada en el documento indicado anteriormente.

Las nuevas exigencias del CTE pretenden mejorar los

aspectos pasivos del edificio, utilizando indicadores fácilmente interpretables y relacionables entre sí, incorporando el uso de sistemas móviles de control solar y tecnologías eficientes de ventilación (recuperadores de calor, free-cooling...).

Hay que recordar que la finalidad de una vivienda es que sea habitada, que se convierta en un lugar de refugio y de confort. Pero el criterio de confort es un concepto subjetivo, variable, que ha evolucionado durante siglos, y pueda resumirse como aquellas condiciones que le exigimos a nuestra vivienda, todo aquello que necesitamos para que se convierta en un hogar.

El concepto de hogar - fogar (procedente del latín focaris, y este derivado en focus) está íntimamente ligado a un trinomio primigenio de fuego, comida y calor; pero nuestras necesidades se han ampliado enormemente, y no es ya suficiente con que también nos proteja también del agua, del viento ó de las inclemencias del tiempo, sino que debe mantenernos en un rango de temperaturas óptimo. No hace mucho, quizás un par de generaciones, el confort podía ser adecuado, o soportable, en el interior de una vivienda que fuera capaz de mejorar 10°C la temperatura exterior; en veranos a 45°C ó inviernos a 0°C exteriores; pero a día de hoy la incluiríamos bajo la definición de “infravivienda”.

De todos modos, hay que considerar que la sensación confort entre un habitante de zonas cálidas y otro de zonas gélidas difiere totalmente. La apreciación térmica de un moscovita en un invierno en Marruecos o de un jordano en un verano canadiense pueden ser muy dispares.

Es aquí donde se plantea la necesidad de incluir en la ecuación energética aspectos sociales y económicos, que se está comenzando a considerar en el actual contexto normativo de ahorro eficiencia energética en edificación (De Diego & De Luxán, 2015).

Este aspecto enlaza con la intención de la Comunidad Europea de buscar una aplicabilidad directa y mejora de las

Sección	Exigencia	Indicador
HE0	<b>Limitación del consumo energético</b>	
	– Edificios nuevos. Vivienda	Consumo de energía primaria no renovable
	– Edificios nuevos. Terciario	Calificación en consumo de energía primaria no renovable
	– Edificios existentes	-
	– Espacios abiertos permanentemente	Uso de energía renovable
HE1	<b>Limitación de la demanda energética</b>	
	<i>Demanda energética</i>	
	– Edificios nuevos. Vivienda	Demanda de calefacción Demanda de refrigeración
	– Edificios nuevos. Terciario	Porcentaje de ahorro de la demanda conjunta sobre la del edificio de referencia
	– Edificios existentes	Demanda conjunta inferior a la del edificio de referencia
	<i>Calidad de la envolvente térmica</i>	Transmitancia térmica ( <i>U</i> ) límite
	<i>Limitación de descompensaciones</i>	Transmitancia térmica ( <i>U</i> ) límite
<i>Limitación de condensaciones</i>	*Comprobación específica*	

Fig. 2. Estructura de exigencias e indicadores actuales del CTE DB-HE 2013 para consumo y demanda. (Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE).

condiciones de vida de las personas, priorizando intervenciones que rentabilicen cualquier tipo de inversión realizada con fondos públicos, y que además permitan impulsar estrategias de inserción socio-laboral para contribuir desde la acción pública a compensar los desequilibrios socioeconómicos.

En la presente investigación se desarrollan propuestas de rehabilitación en viviendas existentes, valorando diferentes medidas de intervención, tanto pasivas (no consumidoras de energía) como activas (consumidoras de energía).

Sobre el caso base de estudio (Nivel 0), se han definido ocho medidas pasivas: sellado carpinterías, toldos enrollables fachada, doble carpintería, sustitución ventanas, aislamiento fachada SATE, aislamiento cubierta, fachada vegetal, cubierta extensiva; y cinco medidas activas: solar térmica, bomba calor, aerotermia, caldera condensación o biomasa.

Otras líneas de trabajo planteadas ha sido el estudiar el grado de confort del usuario, mediante las aplicaciones informáticas Climate Consultant (Build 10, 2018) y Calener VyP (Calener, 2013); así como conocer la efectividad de las diferentes medidas propuestas.

El objetivo de la investigación ha sido proponer aquellas medidas de rehabilitación más adecuadas para bloques de viviendas, para varias zonas climáticas de España, considerando diversos factores como el confort, energéticos, económicos, sociales y medioambientales.

## II. METODOLOGÍA

### A. Caso de estudio

Tanto el caso de estudio como el planteamiento de los Indicadores de Efectividad, se basan en el proyecto de investigación “(Re)Programa: (Re) habitación+(Re) generación +(Re) programación. El reciclaje y la gestión sostenible del parque edificado andaluz“, financiado por la Junta de Andalucía (2015) (Junta de Andalucía, 2015).

El caso de estudio es un bloque de 30 viviendas existente, perteneciente al barrio de 16 bloques ubicado en la Plaza de Santo Tomás de Aquino, en Jerez de la Frontera (Tabla 1) (Fig.

3).

Las características constructivas corresponden a la tipología habitual, de estructura de hormigón armado, forjados con entrevigado cerámico y una envolvente compuesta por: fachadas de ladrillo macizo de medio pie enfoscado con mortero de cemento, carpinterías de aluminio sin RPT, cubierta plana no transitable con mortero en formación de pendientes sobre el forjado de cubierta y sin tratamiento de puentes térmicos.

### B. Zonas climáticas consideradas

La investigación realizada analiza el mismo caso de estudio (Jerez de la Frontera, Cádiz, zona climática A3), en cada una de las 12 zonas climáticas de España definidas en el Código Técnico de la Edificación, en su “Apéndice B.1 Zonas climáticas”. Sin embargo, con la intención de simplificar la obtención e interpretación de datos, se adoptan tres zonas representativas de España.

Las 3 zonas climáticas representativas recogen un extremo de severidad climática invernal (letra E, León), un clima intermedio (C2, Barcelona), y el opuesto de severidad climática estival (número 4, Sevilla).

### C. Software de cálculo

#### Climate Consultant

El programa utilizado para conocer el grado de confort de las diferentes estrategias climáticas ha sido el Climate Consultant, desarrollado en la Universidad de California, Los Ángeles, UCLA (Energy Design Tools Group) (Sánchez-Guevara et al., 2017).

El modelo de confort establecido ha sido el “ASHRAE Estándar 55 and Current Handbook of Fundamentals Model” (ASHRAE, 2013), basado en un modelo de confort que recoge diversos parámetros como la temperatura de bulbo seco, nivel de vestimenta (clo), actividad metabólica, humedad y temperatura media radiante. Este método calcula el confort zonal utilizando la variable PMV (Predicted Mean Vote), considerando que en edificios de viviendas residenciales las

TABLA I  
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EDIFICIO CASO DE ESTUDIO

Año de construcción	1960
Superficie parcela	369 m <sup>2</sup>
Superficie construida	1773,049 m <sup>2</sup>
Nº total de viviendas	30
Superficie útil vivienda	47,5 m <sup>2</sup>
Altura libre	2,35 m
Nº de plantas habitables	5
Volumen útil del edificio	3348,75 m <sup>3</sup> (volumen de recintos habitables)



Fig. 3. Caso de estudio, bloque 30 viviendas (núcleo residencial Plaza de Santo Tomás de Aquino. Jerez).

personas se adaptan a las condiciones térmicas según las condiciones de las estaciones climáticas.

Este modelo de confort se ha considerado el más adecuado para estudiar las condiciones del bloque de viviendas residenciales objeto del estudio.

Los resultados que ofrece Climate Consultant son dos, el número y el porcentaje de horas de confort, de cada una de las estrategias de diseño, considerando diferentes medidas pasivas y activas.

El listado de estrategias definidas en la aplicación son las enumeradas a continuación:

- Confort
- Protecciones solares
- Alta masa térmica
- Alta masa térmica con ventilación nocturna
- Enfriamiento evaporativo directo

- Enfriamiento evaporativo directo de dos etapas
- Enfriamiento por ventilación
- Enfriamiento mediante ventilación forzada
- Ganancias internas
- Ganancias solares y baja masa térmica
- Ganancias solares y alta masa térmica
- Protección contra el viento
- Humidificación
- Deshumidificación
- Refrigeración y deshumidificación
- Calefacción y humidificación

La herramienta informática ofrece además para cada zona climática, diversas propuestas de estrategias de diseño, con el objetivo de aumentar el nº de horas en la zona de confort. Un ejemplo de las estrategias recomendadas para la zona climática E1, León, se muestra en la figura 4.

Climate Consultant 6.0 (Build 10, Nov 21, 2016)

File Criteria Charts Help

<b>DESIGN GUIDELINES (for the Full Year)</b> ASHRAE Standard 55-2004 using PMV All Design Strategies, User Modified Criteria	<b>LOCATION:</b> zonaE1, -, ESP <b>Latitude/Longitude:</b> 40 68° North, 4 13° West, Time Zone from Greenwich 1 <b>Data Source:</b> CTE2013 - WMO Station Number. Elevation 667 m
--	---

**Assuming all 16 Design Strategies were selected on the Psychrometric Chart, 100.0% of the hours will be Comfortable.**  
This list of Residential Design guidelines applies specifically to this particular climate, starting with the most important first. Click on a Guideline to see a sketch of how this Design Guideline shapes building design (see Help).

19	For passive solar heating face most of the glass area south to maximize winter sun exposure, but design overhangs to fully shade in summer
20	Provide double pane high performance glazing (Low-E) on west, north, and east, but clear on south for maximum passive solar gain
1	Tiles or slate (even on wood floors) or a stone-faced fireplace provides enough surface mass to store winter daytime solar gain and summer nighttime 'coolth'
3	Lower the indoor comfort temperature at night to reduce heating energy consumption (lower thermostat heating setback) (see comfort low criteria)
11	Heat gain from lights, people, and equipment greatly reduces heating needs so keep home tight, well insulated (to lower Balance Point temperature)
31	Organize floorplan so winter sun penetrates into daytime use spaces with specific functions that coincide with solar orientation
8	Sunny wind-protected outdoor spaces can extend living areas in cool weather (seasonal sun rooms, enclosed patios, courtyards, or verandahs)
67	Traditional passive homes in cold clear climates had snug floorplan with central heat source, south facing windows, and roof pitched for wind protection
23	Small well-insulated skylights (less than 3% of floor area in clear climates, 5% in overcast) reduce daytime lighting energy and cooling loads
18	Keep the building small (right-sized) because excessive floor area wastes heating and cooling energy
15	High Efficiency furnace (at least Energy Star) should prove cost effective
63	Traditional passive homes in cool overcast climates used low mass tightly sealed, well insulated construction to provide rapid heat buildup in morning
13	Steep pitched roof, with a vented attic over a well insulated ceiling, works well in cold climates (sheds rain and snow, and helps prevent ice dams)
16	Trees (neither conifer or deciduous) should not be planted in front of passive solar windows, but are OK beyond 45 degrees from each corner
4	Extra insulation (super insulation) might prove cost effective, and will increase occupant comfort by keeping indoor temperatures more uniform
2	If a basement is used it must be at least 18 inches below frost line and insulated on the exterior (foam) or on the interior (fiberglass in turred wall)
12	Insulating blinds, heavy draperies, or operable window shutters will help reduce winter night time heat losses
14	Locate garages or storage areas on the side of the building facing the coldest wind to help insulate
28	Windows can be unshaded and face in any direction because any passive solar gain is a benefit, and there is little danger of overheating
9	Use compact building form with square-ish floorplan and multiple stories to minimize heat loss from building envelope (minimize surface to volume ratio)

Fig. 4. Listado de recomendaciones de diseño para la zona climática E1, León (Climate Consultant).

Los resultados obtenidos para la investigación con Climate Consultant son:

- Porcentaje horas de confort que cada medida aporta durante todo el año.
- Recomendaciones de diseño para mejorar nº horas de confort anuales.

#### Calener VyP

El programa utilizado para la simulación energética del edificio es Calener VyP (Calener, 2013), software oficial de evaluación y calificación energética nacional, que ha sido integrado en la Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC, 2017).

Los resultados obtenidos para la investigación con Calener VyP son:

- Demandas de calefacción y refrigeración anuales (kWh/m<sup>2</sup>).
- Consumos de calefacción, refrigeración y ACS anuales (kWh/m<sup>2</sup>).

#### D. Medidas de rehabilitación propuestas

Sobre el caso de estudio ya definido, para las zonas climáticas representativas (León, Sevilla, Barcelona), se proponen diversas medidas de intervención, agrupadas en medidas individuales pasivas (Grupo I) y en combinación con otras medidas que incluye aislamiento de la envolvente de 10cm

(Grupo C). El resumen de estas actuaciones se muestra en la tabla 2.

#### E. Propuesta Indicador Efectividad

Además de la obtención de los parámetros energéticos, obtenidos con los programas Climate Consultant y Calener VyP, que responden a criterios cuantificables y objetivos, es necesario dar respuesta a uno de los aspectos inicialmente planteados, incluyendo los criterios económico, medioambiental y social.

El criterio económico es un aspecto esencial en la eficacia de las intervenciones de rehabilitación energética. Ambos criterios, el energético y el económico, determina qué tipo de intervenciones son más eficaces y amortizables. Ello permite evaluar cada una de las intervenciones comparándolas con el coste energético, y conocer los diversos factores que se tienen en cuenta en la facturación eléctrica, gas y agua.

El indicador de Efectividad (IE) de las intervenciones de rehabilitación, pretende estudiar en su conjunto, además del aspecto energético, otros como el económico, el medioambiental y el social. Se desarrolla en una escala de 0 a 10, y tiene en cuenta variables objetivas y subjetivas a considerar en la rehabilitación energética.

#### Criterio económico

Los aspectos económicos se han calculado para dos grupos: el coste asociado a la ejecución de cada una de las medidas de

TABLA II  
RELACIÓN DE LAS MEDIDAS DE REHABILITACIÓN INDIVIDUALES (I) Y COMBINADAS (C) PROPUESTAS

Grupo I. Medidas individuales pasivas	
I1	Sellado de carpinterías
I2	Toldos enrollables de lamas rígidas en fachada sur, este y oeste
I3	Doble carpintería aluminio corredera
I4	Sustitución a ventanas PVC + vidrio doble bajo emisivo
I5	Aislamiento fachadas exterior EPS (sistema SATE) (aislante 5cm)
I6	Aislamiento cubiertas por exterior (aislante 5cm)
I7	Fachadas vegetales
I8	Cubierta vegetal extensiva (aislante 5cm)
Grupo C. Combinaciones de medidas (aislamientos 10 cm)	
C1	Toldos enrollables + Ventanas PVC + SATE + Aislamiento cubierta (I2+I4+I5+I6)
C2	C1 + Apoyo solar térmica
C3	C1 + Sustitución a bombas calor más eficientes
C4	C1 + Sistema centralización biomasa
C5	C1 + Bomba calor aerotermia (aire-aire y aire-agua): calefacción+refrigeración+ACS
C6	C1 + Caldera condensación centralizada

intervención propuesta, y el coste económico asociado al consumo energético.

En el primero de ellos, el coste de ejecución, el estudio ha cuantificado los costes de ejecución y los de mantenimiento anual, para aquellas intervenciones de rehabilitación que así lo requieran, y que principalmente son en las medidas activas con la ejecución de instalaciones. Con esos datos ha sido posible obtener los costes de intervención total (€), su repercusión €/vivienda, así como el ratio en €/m<sup>2</sup>.

Respecto al segundo, el coste económico asociado al consumo energético se ha definido un gasto estructural de la vivienda, aquel que siempre existe independientemente de los consumos de calefacción o refrigeración. Para determinar cuál es el gasto atribuible a climatización ha sido necesario definir perfiles de uso, que corrigen los valores de consumo que ofrece el programa de Calener VyP, y que no dejan de ser una simulación con parámetros de confort ideales, pero no reales.

TABLA III  
FACTORES DE PONDERACIÓN DEL GASTO. COEFICIENTES DE REDUCCIÓN

Factor ponderación del gasto	Perfil uso		
	Alto	Medio	Reducido
Estructural y ACS	1	0,85	0,7
Calefacción y Refrigeración	0,8	0,5	0,2

Estos consumos calculados por el programa de simulación energética suponen un perfil de ocupación durante el año. No obstante, debido a las particularidades de cada familia y el modo en que se usa la vivienda, puede no ajustarse al 100% del perfil de consumo calculado.

Además, es necesario contemplar el factor de pobreza energética en la realidad social existente, ya que no siempre una vivienda está en condiciones de confort, siendo necesario ajustarse a la realidad definiendo tres perfiles de uso, Alto, Medio y Reducido (Tabla 3).

La ponderación de los perfiles de uso descritos anteriormente se detalla en la tabla 3.

Los criterios económicos considerados son:

- Coste inicial total (€)

- Coste inicial vivienda (€/vivienda)
- Ahorro facturación (€/viv·año)
- Tiempo administrativo
- Procesos repetitivos y repercusión costes estructurales
- Gastos asociados ejecución
- 15 años (€/viv)
- 30 años total (€)
- Periodo de Amortización (años)

### Criterios medioambientales

Los factores medioambientales considerados se extraen de los resultados de cálculo del Calener VyP, cuyos datos son utilizados por la aplicación para obtener la calificación energética del edificio (letras A-F). Es necesario indicar que no es objetivo del presente estudio mejorar la calificación energética, ya que ésta va asociada a las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino adoptar estos valores medioambientales al conjunto de parámetros contemplados en el Indicador de Efectividad.

Los criterios medioambientales considerados son:

- % reducción de la demanda (kWh/año)
- % reducción de energía primaria (kWh/año)
- % reducción emisiones (kgCO<sub>2</sub>eq/año)

### Criterios sociales

Este grupo es el que presenta unos valores de una más difícil cuantificación, ya que considera aspectos de apreciación y subjetivos por parte del propietario o la comunidad.

Entre ellos se contemplan aspectos como la predisposición a aceptar o rechazar las medidas de actuación, las molestias (accesibilidad, ruido, polvo...) que puedan ocasionar las intervenciones, la posibilidad de que el usuario utilice la mejora de modo apropiado, el grado de confort general que pueda obtener el propietario, la mejora estética, su visibilidad o revalorización del inmueble.

Los criterios sociales considerados son:

- Prejuicios sobre la aportación de la intervención
- Duración de las obras
- Molestias a los inquilinos de las obras
- Uso de las medidas
- Confort alcanzado con la intervención
- Visibilidad de la intervención

TABLA IV  
RESULTADOS OBTENIDOS CALENER VYP

Zona climática	Demanda Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> )	Demanda Refrigeración (kWh/m <sup>2</sup> )	Consumo energía primaria Totales (kWh/m <sup>2</sup> )	Emisiones CO <sub>2</sub> Totales (kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Calificación energética
B4.Sevilla	41,00	39,50	146,60	36,0	E
C2.Barcelona	76,00	11,60	166,30	40,8	E
E1.León	160,00	0,00	292,40	72,3	E

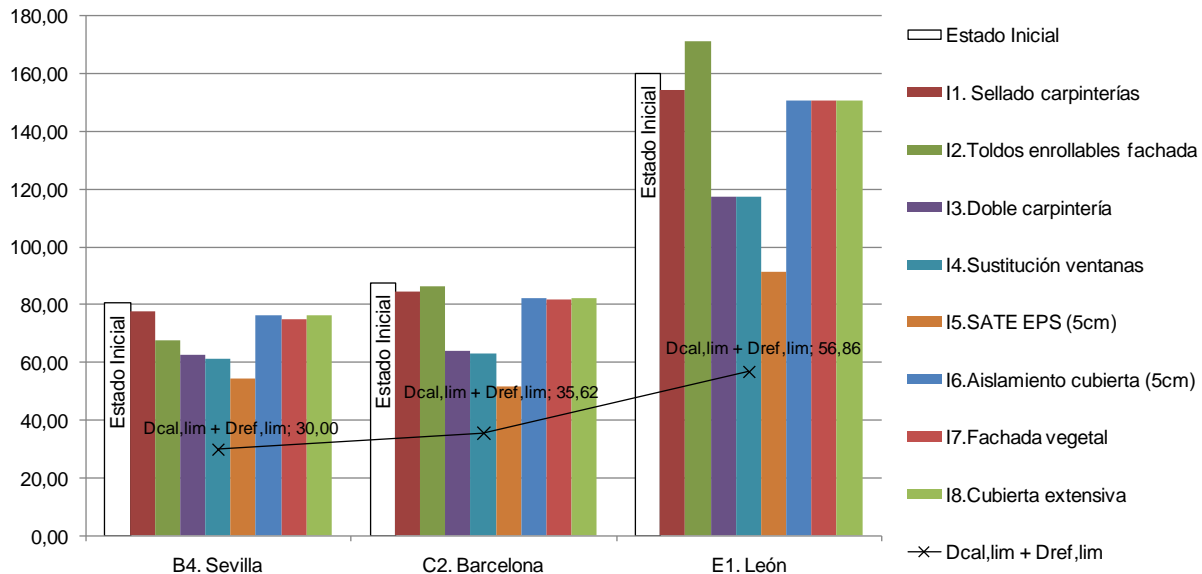


Fig. 5. Estado Inicial y medidas individuales. Demanda total calefacción+refrigeración (kWh/m<sup>2</sup> año) para las 3 zonas climáticas.

### III. RESULTADOS

#### A. Calener VyP

Los resultados de demandas de calefacción y refrigeración obtenidos para el caso de estudio, en las tres zonas representativas (Sevilla-B4, Barcelona-C2, León-E1) son los indicados en la tabla 4.

Los resultados muestran las demandas totales de calefacción y refrigeración, para las medidas individuales (Fig.5) y combinadas (Fig.6). Los valores se comparan con las demandas límite de calefacción y refrigeración (gráfico lineal), establecidas por el CTE.

La figura 5 refleja la variación de las demandas totales del

estado inicial y las ocho medidas de rehabilitación individuales (I). En los tres casos se obtienen mejoras, a excepción del uso de toldos en fachada (medida I2 en León), ya que se impiden las ganancias solares en invierno. De todas las medidas las que mayor reducción aportan son las actuaciones en la envolvente, actuando sobre las carpinterías (medidas I3, I4), y principalmente el aislamiento exterior (medida I5).

En ningún caso con medidas individuales se obtienen los valores límite de demanda de calefacción y refrigeración establecidos por el CTE (30; 35,62; 56,86 kWh/m<sup>2</sup> año).

La figura 6 refleja la variación de las demandas totales del estado inicial y las seis medidas de rehabilitación combinadas (C), que incorporan 10 cm de aislamiento en las actuaciones

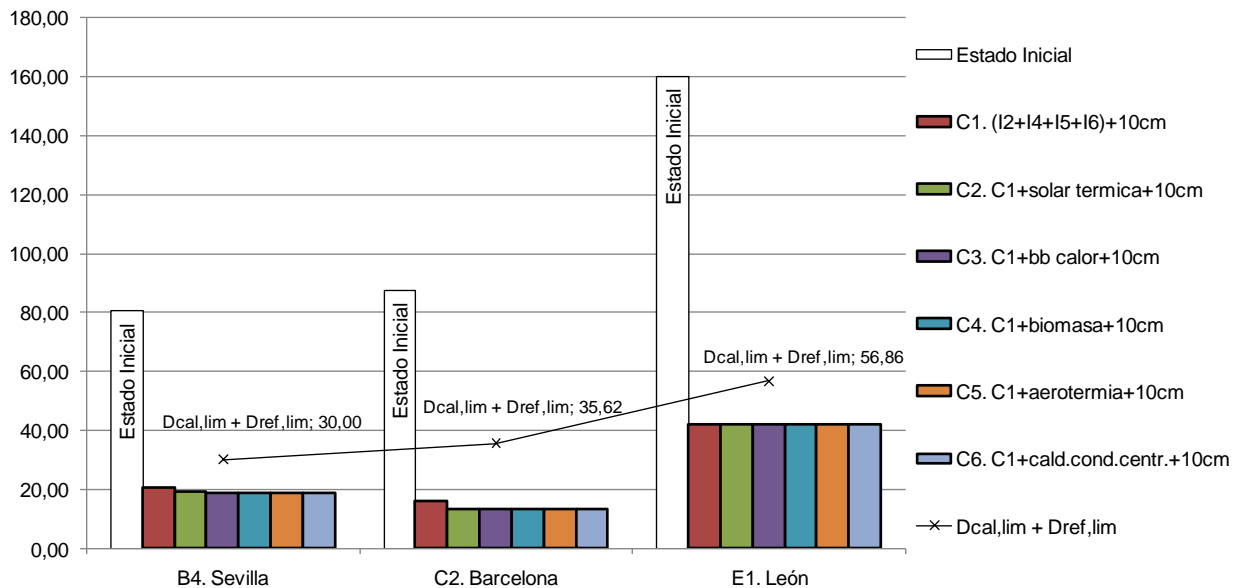


Fig. 6. Medidas combinadas. Demanda total calefacción+refrigeración (kwh/m<sup>2</sup> año) para las 3 zonas climáticas.



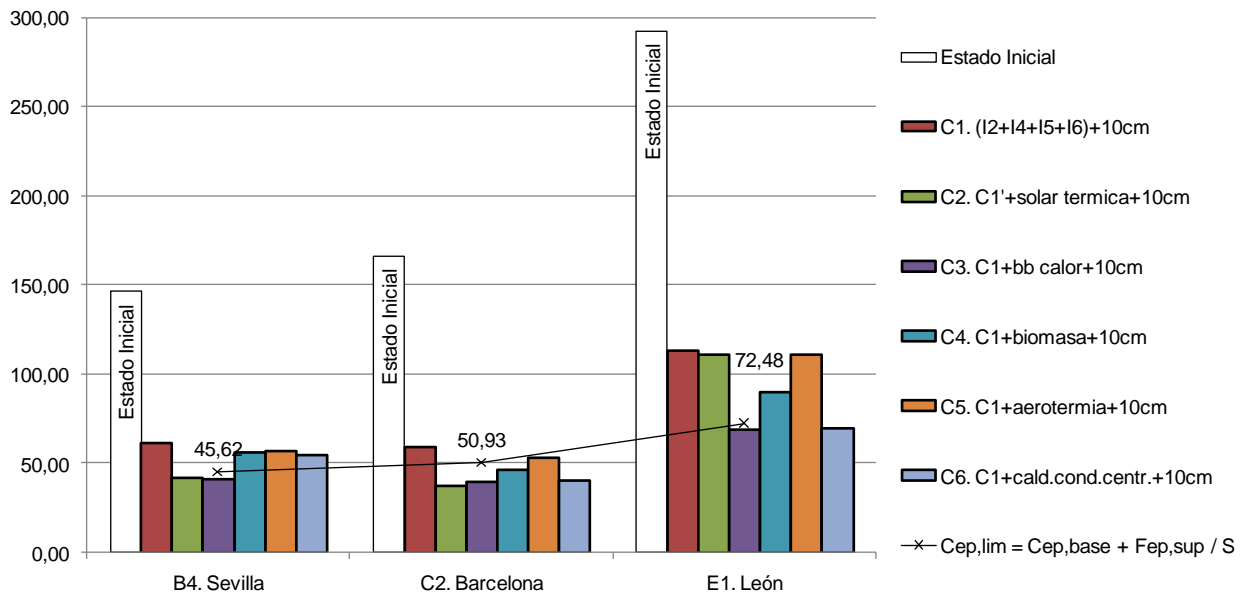


Fig. 7. Medidas combinadas. Consumos totales (calefacción+refrigeración+ACS) (kwhm²/año) para las 3 zonas climáticas.

sobre la envolvente (medidas I5, I6). En los tres casos se obtienen mejoras significativas, y en todos los ellos se mejoran los valores límite establecidos por el CTE (30; 35,62; 56,86 kWh/m² año).

Los resultados obtenidos para los consumos totales (calefacción+refrigeración+ACS), para las medidas combinadas se muestran en la figura 7.

Del mismo modo que para el caso de las demandas totales, en todos los casos se obtienen mejoras significativas, mejorando mejoran los valores límite de consumo establecidos por el CTE (45,62; 50,93; 72,48 kWh/m² año).

En la figura 7 se observa que la combinación de medidas pasivas (medida C1) es la medida de reducción más significativa y que sirve de base para plantear otras medidas. Incluso algunas de ellas no mejorarán de modo significativo los resultados ya obtenidos por la medida C1(es el caso de las medidas C4-C5-C6 en Sevilla; C5 en Barcelona o C2-C5 en León).

La instalación de bomba de calor (medida C3) sí genera mejoras sobre el caso base (medida C1) en los tres casos; y de modo particular el apoyo de solar térmica ofrece también mejoras sobre el caso base, a excepción del caso de León.

**B. Climate Consultant**

Los resultados que se obtienen en Climate Consultant son el porcentaje de horas de confort que cada medida aporta durante todo el año.

Para cada una de las estrategias de diseño establecidas, la herramienta Climate Consultant establece un listado de 67 recomendaciones pasivas de diseño para conseguirlas.

La frecuencia con que cada una de las 67 recomendaciones de diseño aparece, se indica en la figura 8. Los valores

representan el número de veces que cada una de las medidas se recomienda para las 3 zonas climáticas.

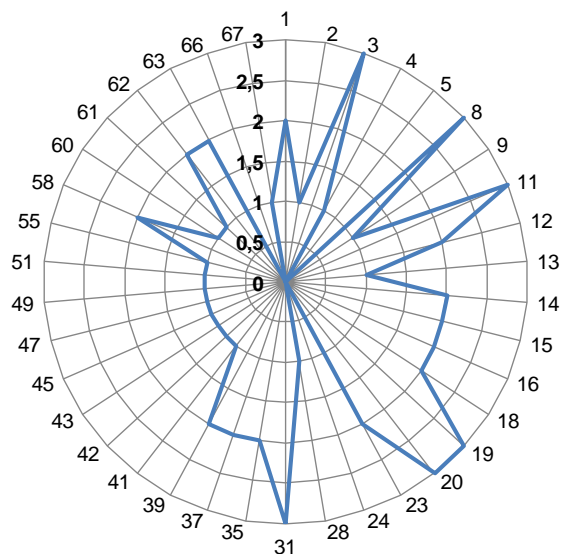


Fig. 8. Número veces que se recomienda cada medida - Climate Consultant (Sevilla,Barcelona, León).

Las medidas de diseño más frecuentes son las identificadas con los números 3-8-11-19-20-31 (Fig. 8):

- 3. Reducir la temperatura de confort interior durante la noche para reducir consumos de calefacción.
- 8. Protección solar en espacios exteriores, con el uso de patios y corredores.
- 11. Ganancias de calor generadas por la iluminación natural a través de las ventanas, iluminación artificial, gente y equipamiento.
- 19. Disponer áreas acristaladas al Sur para maximizar el

sol en época de estío, y con protecciones solares para la época estival.

- 20. Uso de vidrios dobles con cámara y de baja emisividad.
- 31. Adaptar la distribución interior para permitir la entrada de rayos solares en invierno.

Si consideramos aplicar todas las medidas indicadas en cada zona, obtendríamos valores acumulados. De entre todas ellas, se han seleccionado unas medidas pasivas “realistas”, que permitan obtener resultados comparables con las medidas ya calculadas previamente en Calener VyP. Estas medidas seleccionadas recogen actuaciones sobre la envolvente, como son:

- 2. Protecciones solares
- 3. Alta masa térmica
- 10. Ganancias solares y baja masa térmica
- 11. Ganancias solares y alta masa térmica

El potencial de mejora que ofrece la aplicación de las cuatro medidas indicadas anteriormente se indica en la figura 9. Estos resultados acumulados muestran que el mayor potencial de mejora radica en áreas de menor severidad climática en invierno, proporcionando mejoras cercanas al 60% de horas confort anual (Sevilla 58%), estando el resto de zonas en valores cercanos al 40% (Barcelona, 43%); y los valores que menos horas de confort aportan en áreas frías (León, 38%).

De otro modo, es posible afirmar que cualquiera de los conjuntos de estrategias aporta un mínimo de 38% de mejora del confort para cualquier zona climática de España.

### C. Comparación confort entre Climate Consultant – Calener VyP

No es posible establecer una relación directa entre los

resultados obtenidos en las herramientas informáticas Climate Consultant y Calener VyP, debido a que las definiciones de los criterios de confort son diferentes, y a que los resultados se ofrecen bajo diferentes magnitudes, (horas de confort, % de mejora y kWh/m<sup>2</sup> año respectivamente).

Sin embargo, ambos tienen en común la posibilidad de contemplar estrategias pasivas, aunque la modelización en Calener VyP éstas se encuentra limitada, y que cobrarán más peso en el marco del nuevo CTE-HE, que contempla más aspectos del diseño pasivo, con el tratamiento eficiente de las protecciones solares y tecnologías eficientes de ventilación.

Cada aplicación parte de un modelo de confort diferente, en Climate Consultant los resultados se obtienen de forma directa (% anual de mejora en horas). Para el caso de Calener VyP ha sido necesario estimarlo, mediante el porcentaje de mejora en las demandas de calefacción y refrigeración obtenido con cada medida de rehabilitación energética, según la definición del CTE-HE “Demanda energética: energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente” (Ministerio de Fomento, 2013).

Algunas de ellas, como el caso de la disposición de toldos en fachada (medida I2), empeora los resultados en algunos casos, principalmente en los climas fríos, ya que impiden las ganancias solares en invierno. Este aspecto lo que indica es que es necesario diseñar adecuada y personalmente las protecciones solares.

Para poder comparar estrategias, del abanico de posibilidades que ofrece Climate Consultant, se han seleccionado las cuatro estrategias más similares a las calculadas en Calener VyP, ya indicadas anteriormente (medidas 2, 3, 10, 11).

La relación comparativa del porcentaje de mejora (%)

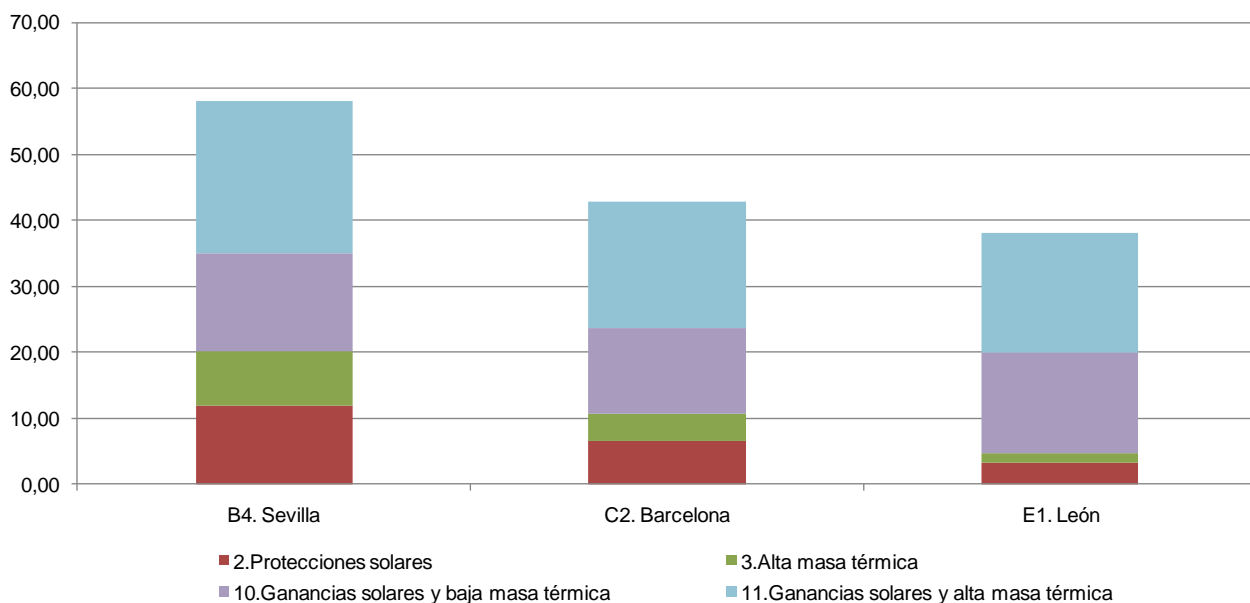


Fig. 9. Potencial de estrategias pasivas. Valores acumulados (Climate Consultant).

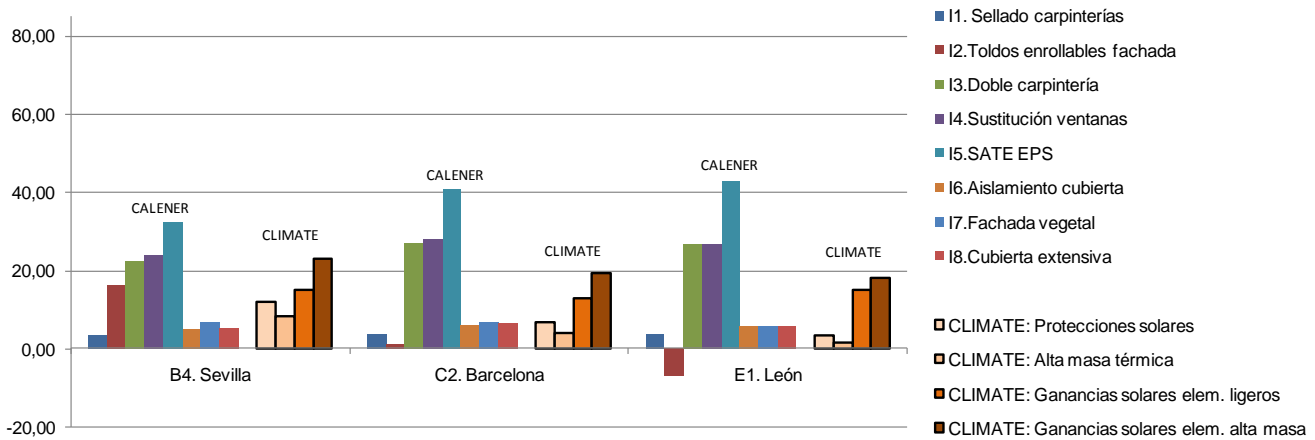


Fig. 10. Relación % de mejora: Calener VyP y Climate Consultant.

obtenido entre Calener VyP y Climate Consultant se indica en la figura 10.

En Climate Consultant los resultados ofrecen los mayores porcentajes de mejora para la medida de ganancias solares en elementos de alta masa, en torno al 20%; seguidos de las estrategias de ganancia solar en elementos ligeros, con valores aproximados del 14%.

**D. Índice de Efectividad**

Además de los parámetros anteriormente señalados, en la investigación se recoge un Índice de Efectividad dependiente de tres perfiles, definidos como Usuario, Promotor Público o Promotor Privado; considerando que cada uno de ellos tiene un interés y expectativas diferentes en la rehabilitación. Lo que puede ser adecuado para el propietario, puede carecer de interés para un promotor público o privado.

Es posible que a una comunidad de vecinos le interese sólo instalar un aislamiento en la fachada para no incrementar los costes, pero para el promotor privado será más interesante si se incrementa el presupuesto de ejecución, aprovechando la misma licencia de obra y andamiaje o elementos auxiliares,

para incorporar el cambio de carpinterías o el arreglo de las cubiertas. A la administración le interesará que los elementos de la rehabilitación permitan obtener ahorros energéticos, para incorporarlo a diferentes ayudas, o justificar las exigencias europeas de ahorro energético, aumentando los espesores de los aislamientos o exigiendo la instalación de carpinterías de alta calidad.

En la presente exposición de resultados, se ofrecen los resultados obtenidos para la zona de León y cada uno de los perfiles Usuario, Promotor Público y Promotor Privado.

La diez mejores medidas obtenidas con el Indicador de Efectividad, según criterios para el Usuario, promotor Público o Promotor Privado, para el caso de León, se recogen en las figuras 11, 12 y 13.

La figura 11 muestra los resultados de las mejores diez medidas consideraras para el Usuario, valoradas en una escala del 0 al 10. Para el perfil de usuario se considera que la repercusión de los diferentes aspectos es: 65% el económico, 0% el medioambiental y 35% el aspecto social.

Top 10. Indicador de efectividad - Usuario - León

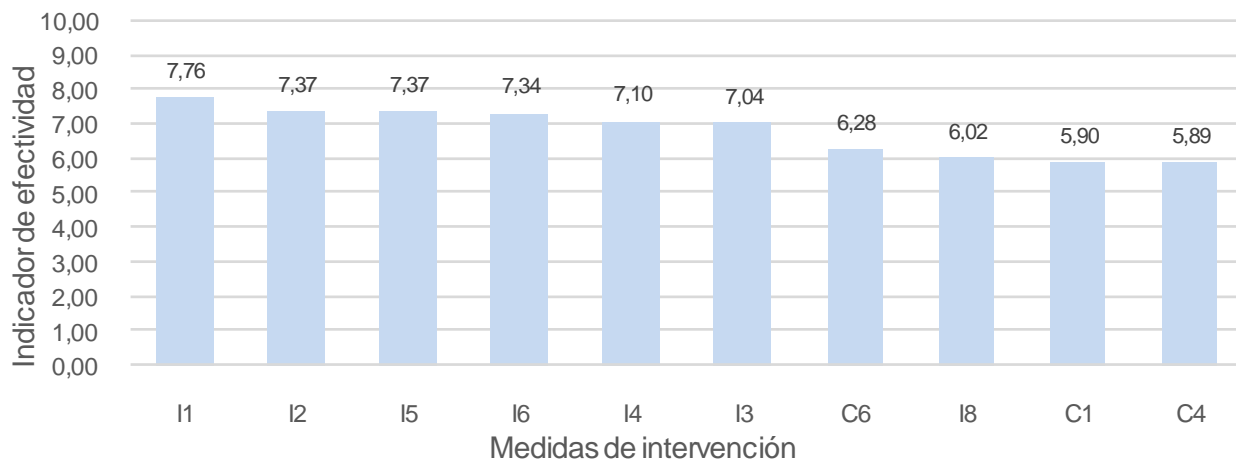


Fig. 11. Resultados de los 10 mejores Indicadores de Efectividad para el perfil de interés, Usuario.

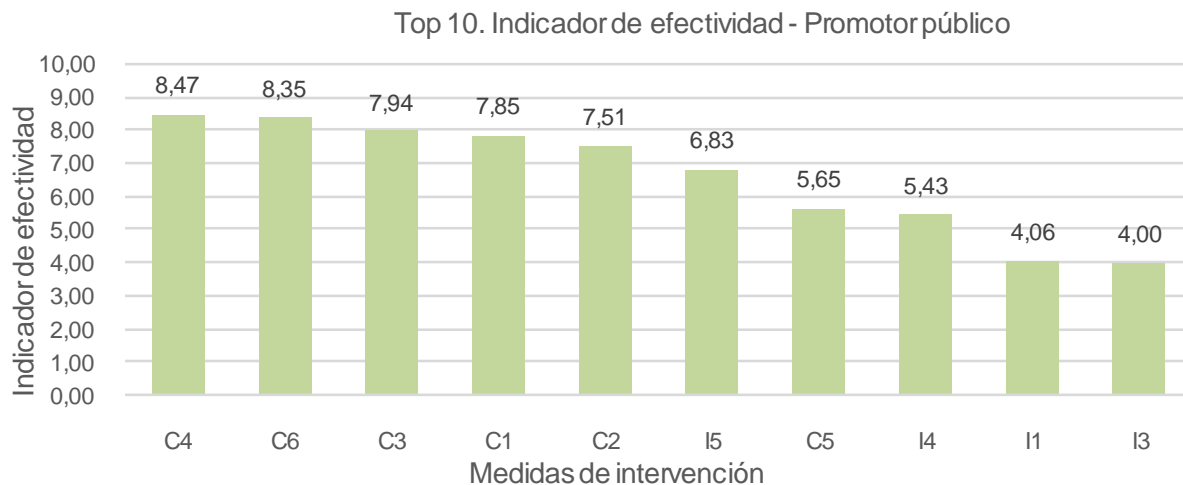


Fig. 12. Resultados de los 10 mejores Indicadores de Efectividad para el perfil de interés, Promotor Público.

Las más valoradas son las intervenciones individuales (medidas I) sobre las combinadas, ya que se ha considerado que el aspecto económico (en concreto el coste inicial €/vivienda) prioriza sobre los aspectos medioambientales y el sociales.

En este caso son las intervenciones más interesantes las de sellado de carpinterías, toldos, o aislamientos exteriores; por encima del cambio de carpinterías, de mayor coste.

Dentro de la escala de las diez mejores medidas, aquellas con menor puntuación son las combinadas para estrategias pasivas (medida C1) y centralización de biomasa (medida C4).

La figura 12 muestra los resultados de las mejores diez medidas consideradas para el Promotor Público, valoradas en una escala del 0 al 10. Para este perfil se considera que la repercusión de los diferentes aspectos es: 30% el económico, 30% el medioambiental y 40% el aspecto social.

Las más valoradas son las intervenciones combinadas (medidas C) sobre las individuales, ya que en este caso tienen una mayor repercusión los aspectos de período de amortización,

confort alcanzado, visibilidad de la intervención o la reducción de emisiones y consumo de energía.

En este caso las intervenciones más interesantes son las combinadas con biomasa o caldera de condensación centralizada (medidas C4, C6) o la mejora de bombas de calor (medida C1).

Dentro de la escala de las diez mejores medidas, aquellas con menor puntuación son las individuales que afectan a las carpinterías (medidas I4, I1, I3).

La figura 13 muestra los resultados de las mejores diez medidas consideradas para el Promotor Privado, valoradas en una escala del 0 al 10. Para este perfil se considera que la repercusión de los diferentes aspectos es: 70% el económico, 20% el medioambiental y 10% el aspecto social.

Las más valoradas son las intervenciones combinadas (medidas C) sobre las individuales, ya que se ha considerado que el aspecto económico (en concreto el coste inicial total, €) prioriza sobre los aspectos medioambientales y el sociales. Es

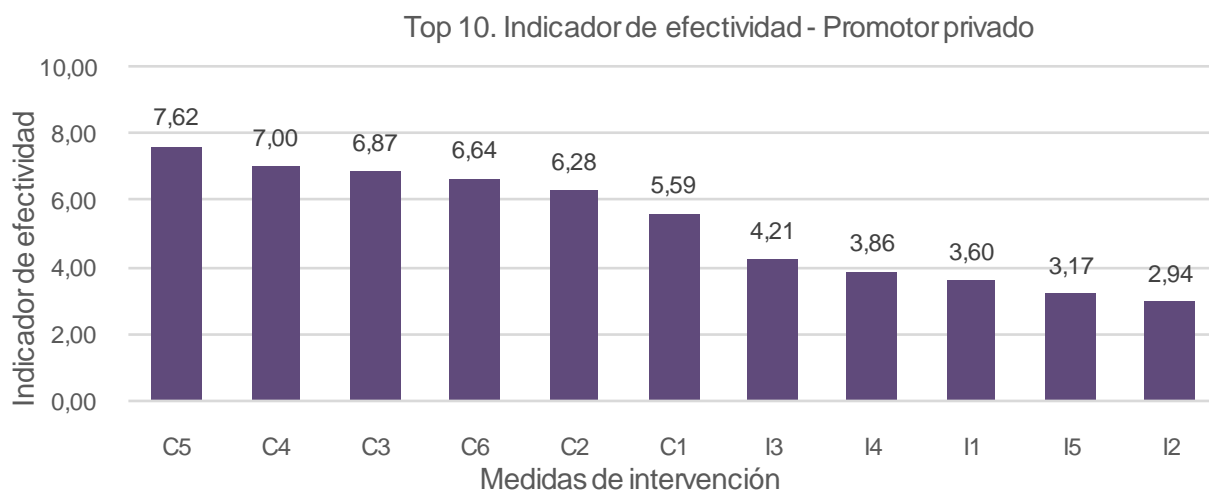


Fig. 13. Resultados de los 10 mejores Indicadores de Efectividad para el perfil de interés, Promotor Privado.

el caso opuesto al interés del usuario, en el que tiene mayor interés los costes de intervención más bajos.

En este caso las intervenciones más interesantes son las combinadas, y entre ellas aquellas que incorporan la bomba de calor aerotermia, centralización de biomasa o la sustitución de bombas de calor (medidas C5, C4, C3).

Dentro de la escala de las diez mejores medidas, aquellas con menor puntuación son las individuales con un menor coste de ejecución, como el sellado de carpinterías, aislamientos exteriores o toldos (medidas I1, I5, I2).

#### IV. DISCUSIÓN

Es necesario considerar que los resultados energéticos obtenidos no dejan de ser una simulación de la realidad, fruto de hipótesis y modelizaciones obtenidas con herramientas informáticas. Estos análisis son válidos para establecer directrices generales para “edificios tipo” del parque edificado en diferentes áreas climáticas; pero para obtener conclusiones reales es necesario realizar auditorías concretas del comportamiento energético, de uso, así como del grado de confort existente, recopilando facturas y consumos de los edificios.

Del mismo modo, las condiciones climáticas están cambiando, por lo que habría que considerar que los resultados obtenidos variarán en un medio y largo plazo, y será necesario adaptarse a las futuras condiciones y escenarios climáticos. La tendencia en España es a un aumento del valor medio de la temperatura máxima, con incrementos de entre 3-5°C a final del s.XXI (Morata, 2014).

El estudio recoge aspectos térmicos y de confort, pero la realidad de la rehabilitación energética en barrios es mucho más compleja que los resultados numéricos, ya que interviene el factor humano; siendo necesario considerar otras cuentas energéticas (De Diego et al., 2015).

Es imprescindible para el éxito de intervenciones en barrios a gran escala la participación e implicación de los vecinos, y adoptar la idea de la propiedad común por encima de intereses particulares. La agrupación y cooperativas pueden ayudar a este fin, incluyendo cuadrillas de mantenimiento del barrio.

Pero el punto crítico en la rehabilitación de barrios es la financiación, y necesita de una colaboración público-privada, que además permita la agilización de trámites, permisos y licencias.

#### V. CONCLUSIONES

Las conclusiones obtenidas en la investigación se basan en el análisis de tres zonas climáticas representativas (Sevilla, Barcelona, León) de las 12 existentes en la península ibérica.

No es suficiente considerar sólo la variable energética o de confort en las intervenciones de rehabilitación. A la ecuación hay que añadir el coste económico, el aspecto medioambiental

y el social, para que la intervención tenga una viabilidad futura.

Cualquier tipo de intervención mejora la demanda o el consumo energético, generando un consiguiente ahorro económico. La baja calidad constructiva del edificio de partida (calificación energética E), representativo de millones de viviendas en España, permite asegurar que cualquier mínima intervención genera mejoras en el confort térmico de la vivienda, con un amplio margen de actuación.

Existe una relación en el porcentaje de mejora de obtenido entre las aplicaciones Climate Consultant y Calener VyP, si bien la entrada de datos y las estrategias predefinidas en Climate son diferentes.

La intervención con medidas pasivas, considerando el aspecto socioeconómico, presentan grandes ventajas con inversiones moderadas (aprox. 6.000 €/vivienda).

Dependiendo del criterio elegido (económico, medioambiental, social) una medida podrá considerarse más o menos efectiva. El indicador de efectividad permite seleccionar las medidas más adecuadas para cada perfil de interés.

Será necesario realizar nuevos estudios con los parámetros de la próxima revisión del CTE y su documento básico DB-HE, del mismo modo que será necesario incluir el concepto de “coste óptimo”, actualmente en fase de desarrollo en España, según lo establecido en la metodología de cálculo de la Unión Europea.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al departamento de Construcciones Arquitectónicas II, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, y al grupo de Investigación “RePrograma” y por ello a la Universidad de Sevilla a la que ambos pertenecen, por su colaboración en el desarrollo del presente trabajo, fruto del apoyo a la investigación.

#### REFERENCIAS

- ASHRAE (2013), “ASHRAE Standard 55 and Current Handbook of Fundamentals Model”, 2013.
- BPIE (2018). Buildings Performance Institute Europe: BPIE. [bpie.eu/](http://bpie.eu/)
- Build 10 (2018). Climate Consultant 6.0 (Build 10). <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>
- Calener (2013). VyP 1.0. 12 junio 2013.
- De Diego, G., De Luxán, M. (2015). “Re-habilitación exprés para hogares vulnerables. Soluciones de bajo coste”, Fundación Gas Natural Fenosa, 2015.
- De Diego, G., De Luxán, M., Gómez, G.; Román, E., (2015). “Cuentas energéticas no habituales en edificación

- residencial”, *Informes de la Construcción*, Vol.67, marzo 2015.
- Fernández, P.J. (2017). “Propuestas de rehabilitación energética de viviendas en España. Confort y efectividad”, Proyecto Fin de Grado, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación, Universidad de Sevilla.
- Greenpeace (2011), “Energía 3.0. Un sistema energético basado en inteligencia, eficiencia y renovables 100%”, 2011.
- HULC (2017). Herramienta unificada LIDER-CALENER “HULC”, Código Técnico de la Edificación, <https://www.codigotecnico.org/index.php>, 2017.
- Junta de Andalucía (2015). “(Re)Programa: (Re)habilitación + (Re)generación + (Re)programación. El reciclaje y la gestión sostenible del parque edificado andaluz”, Proyecto de investigación, 2015, <http://grupo.us.es/reprograma/>.
- Manzano, F., Montoya, F.G., Sabio-Ortega, A., García-Cruz, A. (2015). “Review of Bioclimatic Architecture Strategies for Achieving Thermal Comfort.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 736–755.
- Milne, M., Liggett, M., Benson, A., Bhattacharya, Y. (2016). “Climate Consultant 6.0”, UCLA Department of Architecture and Urban Design, 2016.
- Ministerio de Fomento, (2013). “Código Técnico de La Edificación de España. Documento Básico DB-HE. Ahorro de Energía”, Boletín Oficial del Estado, 2013.
- Ministerio de Fomento (2016), “Documento de bases para la actualización del Documento Básico DB-HE”, 2016.
- Ministerio de Industria (2007), Turismo y Comercio, “Real Decreto 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios”, 2007.
- Ministerio de Vivienda (2006), “Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación”, 2006.
- Morata, A. (2014). “Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4”. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid, 2014.
- Naciones Unidas, (1997). “United Nations framework convention on climate change,” Protocolo de Kyoto, 1997.
- Rubio, C., Pulido, J., Cabeza, J. (2015). “Adaptation Strategies and Resilience to Climate Change of Historic Dwellings,” *Sustainability*, vol. 7, pp 3695-3713, 2015.
- Sánchez-Guevara, C., Mavrogianni, A., Neila, F.J. (2017), “On the Minimal Thermal Habitability Conditions in Low Income Dwellings in Spain for a New Definition of Fuel Poverty”, *Building and Environment*, vol. 114, pp.344–356, 2017.
- Unión Europea, (2002). “Directiva 2002/91/EC el Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 Diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios”, 2002.
- Unión Europea, (2009a). ASIEPI Project “Reference buildings for EP calculation studies”, 2009.
- Unión Europea (2009b), TABULA Project, “Typology Approach for Building Stock Energy Assessment”, 2009.
- Unión Europea, (2010). “Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios”, 2010.
- Unión Europea, (2012). “Directrices 244/2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos”, 2012.



**Reconocimiento – NoComercial (by-nc):** Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.