

**“RESILIENCIA AL CAMBIO CLIMÁTICO DEL ENTORNO
CONSTRUIDO EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA DEL SUR DE
EUROPA”**

**"RESILIENCE OF THE BUILT ENVIRONMENT TO THE CLIMATE
CHANGE IN THE SOUTHERN EUROPEAN REGION.
AN INITIAL REVIEW"**

**AUTORA: AINHOA ARRIAZU RAMOS
DIRECTORA: AURORA MONGE BARRIO**

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIÓN, INSTALACIONES Y ESTRUCTURAS

ÍNDICE

1. Introducción

- 1.1. Objeto y objetivos del estudio
- 1.2. Justificación de la relevancia
- 1.3. Antecedentes
 - A. Países seleccionados para el estudio
 - B. Motivos de la selección de estos países como zona a estudiar

2. Climas Región Mediterránea del Sur de Europa

- 2.1. Características generales de los climas de la zona
- 2.2. Cambio climático

3. Condiciones interiores de los edificios para el confort y salud de las personas

- 3.1. Temperaturas y salud
 - A. Invierno
 - B. Verano
- 3.2. Condiciones de confort en el interior de edificios residenciales

4. Población vulnerable

- 4.1. Población envejecida
 - A. Parámetros de confort para personas mayores
 - B. Cambios en el metabolismo
 - C. Morbilidad y mortalidad asociadas a temperaturas interiores de vivienda
 - D. Demencia
- 4.2. Pobreza energética
 - A. Pobreza energética y salud
- 4.3. Población con minusvalías y enfermedades de larga duración

5. Arquitectura residencial pasiva en climas mediterráneos

6. Conclusiones

7. Agradecimientos

8. Referencias

Abstract— El presente trabajo aborda la necesidad de cambio en los modos y formas de construcción de edificios residenciales, presentando la necesidad y resultados de implementar medidas energéticamente pasivas como un elemento fundamental a tener en cuenta dentro del diseño arquitectónico global. Esta importancia se justifica como una solución ante los problemas que se derivan del cambio climático que afectarán, y están afectando, al conjunto de la sociedad y con especial dureza a la población en situaciones de vulnerabilidad (población envejecida, en situación de pobreza energética y/o con minusvalías y enfermedades)

Se ha querido localizar este estudio en la región mediterránea del Sur de Europa ya que esta zona presenta grandes retos debido a los tipos de clima que presenta, a las características presentes y futuras del conjunto de su población y a las previsiones de cambio climático que la sitúan como una de las zonas de Europa que peores consecuencias sufrirá, especialmente desde el punto de vista térmico (aumento de las temperaturas y de las olas de calor).

Las estrategias energéticas pasivas en el diseño o rehabilitación de un edificio, constituyen el primer paso a considerar en la eficiencia energética de los edificios para alcanzar el objetivo a futuro de una arquitectura y ciudades resilientes. Dichas medidas vienen necesariamente definidas según las condiciones climáticas en las que se ubica el edificio, así como del patrón de uso de los ocupantes del edificio. Además, el bienestar de los usuarios junto con el confort interior de las viviendas son dos elementos fundamentales a tener en cuenta en la consecución de los objetivos ambientales.

Esta investigación aborda la problemática descrita, basándose en la revisión bibliográfica de artículos indexados y libros relevantes, así como de aquellos organismos que trabajan específicamente en alguno de los aspectos (IPCC, WHO, EEA, UE, etc).

Abstract— This initial review is about the necessity of change the way of construction in residential buildings, presenting the necessity and results of implementing energy passive strategies as a fundamental element in architectural design. This importance is justified as a solution to the problems that derive from climate change that will affect, and is affecting, our society with special hardness on the population in situations of vulnerability (aging, people in a situation of energy poverty and / or with disabilities and diseases...).

This study is focused in the Mediterranean region (South of Europe) because this zone presents great challenges, related with the type of climate that it presents, the present and future characteristics of its population and the predictions of climatic change that place it as one of the areas in Europe that will suffer the worst climate consequences, especially from the thermal point of view (the temperatures and heat waves will rise).

Passive energy strategies, in the design or rehabilitation of a building, are the first step to achieve the future objective of a resilient architecture and cities. These strategies are necessarily defined according to the climatic conditions in which the buildings are located, as well as the pattern of use of the occupants of these buildings. In addition, the well-being of the users and the comfort in the homes are two fundamental elements to take into account to achieve the environmental objectives.

This research is based on the bibliographic review of indexed articles and relevant books, as well as those organizations that work specifically on the topic of this review (IPCC, WHO, EEA, UE, etc).

Key Words— Confort, Vulnerable Population, Health, Passive Strategies, Energy Consumption, Resilience, Climate Change, South Europe.

1. INTRODUCCIÓN

La Directiva Energética de Eficiencia Energética de Edificios (EPDB 2010) sitúa a los edificios como uno de los principales protagonistas en la consecución de los objetivos ambientales establecidos para frenar el cambio climático, una realidad actual y futura avalada por la comunidad científica internacional.

El Informe del ODYSSEE-MUREE 2015 (Gynther et al. 2015) establece que los edificios suponen el 40% del total del consumo energético y alrededor del 55% del consumo eléctrico de EU en 2012, siendo los edificios los que consumen una mayor energía por delante del sector transporte (32%), la industria (26%) y la agricultura (2%), De ellos, dos tercios del consumo de los edificios corresponde al sector residencial (Figura 1).

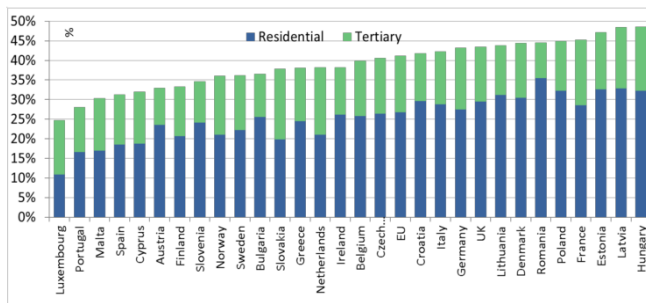


Figura 1 Porcentaje que suponen los edificios en el consumo final de energía
Fuente: Extraído de Energy efficiency trends and policies in the household and tertiary sectors. An analysis based on the ODYSSEE and MUREE databases

Las estrategias energéticas pasivas en el diseño o rehabilitación de un edificio, constituyen el primer paso a considerar en la eficiencia energética de los edificios. A estas, habrá que añadir la mejora de la eficiencia energética de los sistemas y la utilización de energías renovables, con el objetivo final de alcanzar edificios de consumo casi nulo de energía (nZEB).

Estas estrategias pasivas vienen necesariamente definidas según las condiciones climáticas en las que se ubica el edificio, así como del patrón de uso de los ocupantes del edificio, puesto que el bienestar de los usuarios es fundamental en la consecución de los objetivos ambientales.

Sin embargo, para afrontar el reto de la necesaria mejora en la eficiencia energética de la arquitectura, nos enfrentamos a fuertes incertidumbres definidas por los diferentes escenarios previstos de cambio climático, que son precisamente previsiones y escenarios, distintos de las condiciones climáticas actuales.

"It is estimated that 70% of houses that will be in use in 2050 have already been built"(Porritt et al. 2011) y es más que esperado que las condiciones de entorno del 2050 diferirán bastante a las actuales. Por ello, el objetivo debe ser la construcción de edificios (y ciudades) resilientes, es decir, que tengan la capacidad de seguir operativos a pesar de los cambios que se produzcan en su contexto debido, entre otros factores, al cambio climático.

La resiliencia al cambio climático se entiende como *"the capacity of social, economic, and environmental systems to cope with a hazardous event or trend or disturbance, responding or reorganizing*

in ways that maintain their essential function, identity, and structure, while also maintaining the capacity for adaptation, learning, and transformation" (IPCC 2014b)

1.1. OBJETO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objeto de esta investigación consiste en el estudio de las **estrategias energéticas pasivas (adaptación)** de aplicación en los edificios residenciales colectivos, en climas mediterráneos, atendiendo a los retos del **cambio climático** y la **población más vulnerable**. Se realiza mediante la revisión de artículos indexados, bibliografía de relevancia y fuentes contrastadas, estableciendo las correspondientes relaciones entre los distintos aspectos, con el objetivo final de poder valorar la importancia de las estrategias energéticas pasivas como elemento clave en la consecución de los objetivos ambientales de la Directiva Europea de eficiencia energética 201/31, y los compromisos medioambientales de la Unión Europea a corto y medio plazo.

El objetivo de este estudio no acaba en si mismo ya que la bibliografía relacionada con la eficiencia energética de los edificios en climas que se dan en la región mediterránea del sur de Europa no es tan amplia como sería deseable, y es muy escasa, si además se relaciona con el cambio climático y la población vulnerable. Por ello esta revisión bibliográfica supone un punto de interés y de innovación que supondrá el punto de partida (estado del arte) para una futura tesis doctoral.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA RELEVANCIA

El cambio climático es una realidad avalada por la comunidad científica internacional. Las contribuciones más importantes las encontramos resumidas en los informes que se realizan periódicamente por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC 2014a).

El Acuerdo alcanzado en la XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático en París COP21/CMP11, ha supuesto, un compromiso internacional en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, con el objeto de limitar el calentamiento global por debajo de 2°C para 2100. Los científicos consideran que un aumento de 2°C respecto a la temperatura de la era preindustrial es el límite más allá del cual hay un riesgo mucho mayor de que se produzcan cambios peligrosos y catastróficos para el medio ambiente global. Actualmente, la temperatura media es 0,85°C superior a la de la era preindustrial, con aumentos de temperatura sin precedentes en las tres últimas décadas, con lo que es urgente actuar o seguir actuando, y acelerar el ritmo de las medidas para la mitigación y adaptación al Cambio Climático.

La Unión Europea (UE) ha fijado unos objetivos para reducir progresivamente las emisiones de gases de efecto invernadero de aquí a 2050, que pretenden situar a la UE en la senda de la transformación hacia una economía baja en carbono, estableciéndose un paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020, y un marco de acción sobre clima y energía para 2030.

Los objetivos concretos para 2020 (Climate action 2020 n.d.) son tres:

- 20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con los niveles de 1990
- 20% de energías renovables en la UE
- 20% de mejora de la eficiencia energética

Estos objetivos afectan a los sectores de la vivienda, agricultura, residuos, y transportes (excluida la aviación).

Los objetivos para 2030 (Climate action 2030 n.d.), encaminados hacia el objetivo de una economía baja en carbono en el 2050, son tres:

- 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero
- 27% de cuota de energías renovables
- 27% de mejora de la eficiencia energética

Por otra parte, en los edificios de carácter residencial colectivo, se afronta una amplia diversidad de usos debido a los múltiples ocupantes y a la diversidad de situaciones en las que se encuentran las personas que los habitan. Esto influye decisivamente en la demanda y consumo real de energía y de las emisiones asociadas. El bienestar de todos los usuarios de estos edificios con

múltiples ocupantes es una prioridad básica asociada a la reducción de emisiones, por lo que la reducción de la demanda energética de los edificios a través de sus estrategias energéticas pasivas se considera un factor clave.

Por todo ello, cabe resaltar, que no sólo es importante estudiar la reducción del consumo final de energía y emisiones asociadas para ayudar a la mitigación del Cambio Climático, sino también analizar cómo la población, y especialmente la más vulnerable, se adaptarán a futuros escenarios de cambio climático en sus viviendas.

1.3. ANTECEDENTES

Este estudio se centra en el análisis de los países europeos conocidos como el “Sur de Europa”.

A. PAÍSES SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO

Se seleccionan 12 países con ciudades concretas en cada uno de ellos consiguiendo un mapeo general de la zona a estudiar. Las ciudades se han seleccionado atendiendo al clima, a los datos disponibles y para conseguir abarcar el territorio uniformemente. (Figura 2)(Tabla 1)



Figura 2 Mapa europeo de ciudades y países seleccionados

ESPAÑA	FRANCIA	ITALIA	GRECIA	MONTENEGRO	BOSNIA HERZEGOBINA	ESLOVENIA	PORTUGAL	CHIPRE	MALTA
Almería	Bastia	Messina	Souda (Creta)	Tivat	Mostar	Portoroz	Faro	Larnaca	Luga
Ibiza	Nice	Palermo	Samos	Podgorica			Lisboa	Paphos	
Málaga	Toulouse	Catania	Atenas				Porto		
Alicante	Perpignan	Cerdeña. Cagliari	Milan				Coimbra		
Murcia	Girona	Roma	Corfu (Kerkyra)						
Sevilla	Zaragoza	Napoles							
León	Granada	Alghero (Cerdeña)							
Madrid	Pamplona		Alexandroupoli						

Tabla 1 Relación de ciudades seleccionadas por países

*Los países Croacia y Albania no presentan ciudades seleccionadas ya que no se disponen de datos climáticos

B. MOTIVOS DE LA SELECCIÓN DE ESTOS PAÍSES COMO ZONA A ESTUDIAR

La zona anteriormente descrita presenta un gran reto en tres aspectos (Figura 4) que se consideran fundamentales a la hora de acometer rehabilitaciones en viviendas existentes o construcciones de nueva obra:

- El clima ya que se debe atender tanto al régimen de verano como al de invierno a la hora de diseñar los edificios desde un punto de vista energético.
- Los impactos comunes y graves del cambio climático al que se enfrenta.
- La proyección de población vulnerable y su capacidad de adaptación a corto y largo plazo ante estos cambios climáticos.

Esta región presenta un impacto medio-alto al cambio climático con una capacidad de adaptación media- baja debido a que la vulnerabilidad de la población ante estos cambios es alta.

Por ello es fundamental tener en cuenta las proyecciones a futuro estimadas en cuanto al cambio climático para intentar adaptarse desde ahora a ellas.

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente –European Environment Agency (EEA) - la zona del sur de Europa presenta una proyección común de consecuencias derivadas del cambio climático (Figura 3) las cuales se enumeran a continuación:

- Aumentos de temperatura superiores a la media europea
- Reducción de las precipitaciones anuales
- Disminución del caudal de los ríos
- Aumento del riesgo de desertificación
- Aumento de demanda de agua para la agricultura
- Disminución de la productividad de los cultivos
- Aumento del riesgo de incendios forestales
- Aumento de la mortalidad por olas de calor
- Expansión del hábitat de los vectores de enfermedades propios de latitudes meridionales
- Disminución del potencial hidroeléctrico
- Reducción del turismo de verano

Cabe señalar que esta review se centra únicamente en el aspecto térmico del cambio climático. Se atiende al impacto que tiene el aumento de las temperaturas (tanto de las temperaturas máximas mínimas y medias) y de las olas de calor (aumento en su número, en el número de días de duración y de las temperaturas que se alcanzan en ellas) en la arquitectura doméstica basándose en, como muchos estudios afirman, “Southern Europe appear to be most sensitive to hot weather, and also will experience the highest heat wave exposures”.

(R. S. Kovats et al. 2014)



Figura 3 Efectos del cambio climático
Fuente European Environment Agency (EEA n.d.)

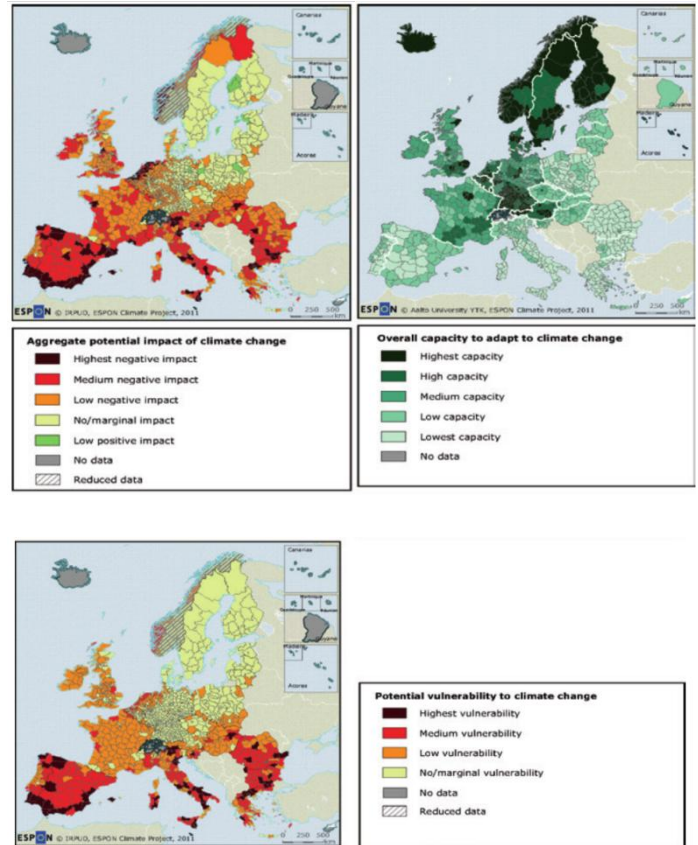


Figura 4 Relación entre el potencial cambio climático, la capacidad de adaptación y la vulnerabilidad al mismo
Fuente European Environment Agency (EEA n.d.)

2. CLIMAS DE LA REGIÓN MEDITERRÁNEA DEL SUR DE EUROPA

2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CLIMAS DE LA ZONA

Los países estudiados pertenecen, según la clasificación climática de Köppen-Geiger (Figura 5), a la clasificación Csa, Csb (que son los considerados propiamente mediterráneos) a los que se añade el Bsk, Cfb y Cfa. Los artículos revisados para fundamentar esta review son estudios de esta zona, de zonas de otra parte del mundo pero con el mismo clima o de países del norte de Europa de los que se toman ciertas referencias siempre sabiendo que el clima es diferente.

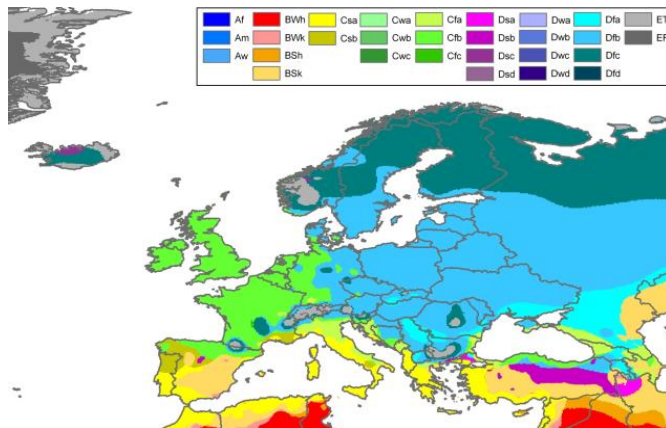


Figura 5 Mapa de Europa de la clasificación climática Köppen-Geiger
Fuente Extraído de (Peel et al. 2007)

A continuación se describen brevemente las características de estos cuatro climas y se apunta en que otras zonas del planeta pueden darse (Peel et al. 2007):

Csa: Mediterráneo

Es un clima templado, el propiamente conocido como mediterráneo, con lluvias estacionales y presencia de estación seca en verano. Las temperaturas son cálidas en el periodo estival. La temperatura media del mes más cálido supera los 22 °C.

También se da, además de en Europa, en zonas de Chile, Australia, California.

Csb: Oceánico-mediterráneo

Es un clima templado de transición entre el Csa (mediterráneo) y el Cfb (oceánico). Presenta un verano más suave que el mediterráneo con estación seca que se da en los meses más cálidos. La temperatura media del mes más cálido no supera los 22 °C con temperaturas medias superiores a 10°C durante, al menos, cuatro meses del año.

También se da, además de en Europa, en zonas de Chile, Argentina, costa oeste de EEUU y el suroeste de Canadá.

Bsk: Semiárido frío

Es un clima seco con presencia de estación seca en verano. La temperatura media anual está por debajo de los 18 °C.

Cfb: Oceánico

Es un clima templado y húmedo, lluvioso todo el año con ausencia de periodo seco. La temperatura media del mes más cálido no supera los 22 °C con temperaturas medias superiores a 10°C durante, al menos, cuatro meses del año.

Cfa: Subtropical sin estación seca

Es un clima templado y húmedo sin estación seca, siendo la temperatura media del mes más cálido supera los 22°C.

Se da en zonas limítrofes con el clima Cfb.

2.2. CAMBIO CLIMÁTICO

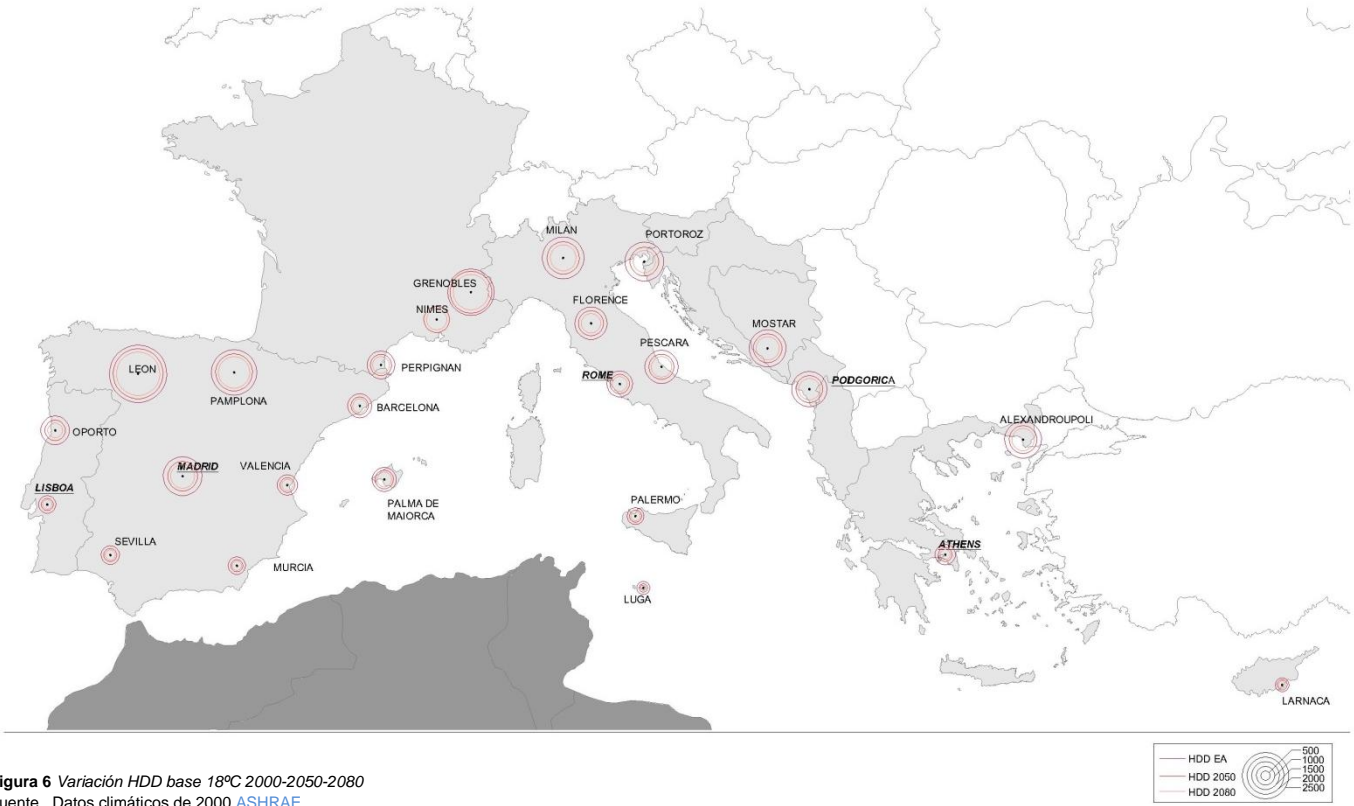
“The Mediterranean area has been identified as one of the most prominent “hot-spots” (a region whose climate is especially responsive to global change) in future climate change projections” (Giorgi 2006).

En cuanto a las temperaturas, la región que rodea al mar Mediterráneo se ha calentado durante la mayor parte del siglo XX, con la tendencia de calentamiento, durante el período 1951-2000, alrededor de 0,1°C/década. La tendencia más extrema se está dando en la Península Ibérica con un aumento de temperatura de 0,2°C/década (Anon 2006). En general, se predice un incremento notable en el número de días y noches muy calurosas en verano así como la disminución de días y periodos muy fríos durante el invierno (Anon 2006). Además, *“mega-heatwaves” will increase 5–10 times within the next 40 years” (Barriopedro et al. 2011).*

A modo ilustrativo se muestran dos mapas del sur de Europa (Figura 6-7) sobre el análisis hecho en relación a la proyección de los Grados Día de Refrigeración (Cooling Degree Days -CDD-) y los Grados Día de Calefacción (Heating Degree Days -HDD-) en varias ciudades de los países a estudio, para los escenarios de cambio climático de 2050 y 2080. El estudio se ha realizado con los años climáticos IWEC2 (ASHRAE), basados en general en la serie climática 1980-2010. Los escenarios de 2050 y 2080 se han generado con la herramienta CCWorldWeatherGen de la Universidad de Southampton (Jentsch et al. 2013), y que utiliza los datos del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014a) (Third Assessment Report model summary data of the HadCM3 A2 experiment ensemble).

Los HDD se han calculado en base 18°C y los CDD en base 27°C. Estas bases se han considerado según la Categoría III de la norma (UNE-EN 15251 2008) (Aceptable y moderado nivel de expectativa, aconsejado para edificios existentes calentados y enfriados mecánicamente, Anexo A). En el capítulo 4, se profundiza sobre las consideraciones de confort y salud en la población vulnerable objeto del estudio

En la (Tabla 2) se muestra la variación de los HDD y CDD para distintas localidades y escenarios de cambio climático.



Ciudad		CTE	Koppen (según epw2)	Altitud	Latitud	HDD (18°C) hora EA	HDD (18°C) hora 2050	HDD (18°C) hora 2080	CDD (27°C) hora EA	CDD (27°C) hora 2050	CDD (27°C) hora 2080
Sevilla	ESP	B4	Csa	31	37°25'	1029	732	557	260	539	795
Larnaca	CYP		Csa	2	34°52'	799	581	429	180	370	582
Murcia	ESP	B3	BSk	62	38°0'	990	694	515	179	440	710
Atenas	GRC		Csa	15	37°54'	1100	791	581	161	388	595
Madrid	ESP	D3	Csa	582	40°27'	2104	1641	1340	153	405	643
Podgorica	MNE		Cfa	33	42°22'	1911	1472	1194	128	406	644
Palermo	ITA		Csa	117	38°5'	940	692	516	109	228	392
Mostar	BIH		Cfb	108	43°19'	2027	1560	1280	105	341	553
Florenzia (Firenze)	ITA		Cfb	38	43°47'	1797	1355	1077	98	279	470
Lisboa	PRT		Csa	114	38°46'	985	686	509	94	198	305
Luqa	MLT		Csa	91	35°50'	713	481	324	92	198	333
Palma	ESP	B3	Csa	7	39°32'	1341	1026	821	83	205	332
Alexandroupoli	GRC		Csa	3	40°50'	2024	1534	1237	70	281	500
Valencia	ESP	B3	BSk	62	39°30'	1142	835	644	66	272	509
Nimes	FRA		Csa	62	43°52'	1808	1406	1132	62	191	327
Pescara	ITA		Cfa	11	42°25'	1805	1396	1131	49	214	381
Portoroz	SVN		Cfb	95	45°31'	2115	1582	1243	49	229	408
Perpignan	FRA		Cfa	47	42°43'	1523	1176	942	44	178	339
Pamplona	ESP	D1	Cfb	453	42°46'	2489	2041	1720	44	139	250
Milan (Linate)	ITA		Cfa	103	45°25'	2264	1766	1444	41	209	403
Leon	ESP	E1	Csb	914	42°34'	3131	2725	2394	33	98	164
Roma	ITA		Csa	3	41°47'	1445	1085	843	26	129	259
Grenobles	FRA		Cfb	386	45°20'	2845	2287	1905	17	121	247
Barcelona	ESP	C2	Csa	6	41°16'	1332	989	764	14	131	295
Porto	PRT		Csb	77	41°13'	1566	1146	822	10	44	29

Tabla 2A Relación de ciudades seleccionadas atendiendo a la variación de los HDD-CDD y escenarios de cambio climático

Fuente Datos climáticos de 2000 ASHRAE

Ciudad		CTE	Koppen (según epw2)	Altitud	Latitud	Tmed EA	Tmed 2050	Tmed 2080	Tmed mes más frío EA	Tmed mes más frío 2050	Tmed mes más frío 2080	Tmed mes más cálido EA	Tmed mes más cálido 2050	Tmed mes más cálido 2080
Atenas	GRC		Csa	15	37°54'	18,2	20,3	22,1	10,7	11	12,1	28	31,4	31,1
Sevilla	ESP	B4	Csa	31	37°25'	18,6	21,1	23	10,2	11,9	13,1	27,8	31,5	33,9
Larnaca	CYP		Csa	2	34°52'	20	21,5	23,1	11,6	13,2	14,4	27,7	30,2	32
Murcia	ESP	B3	BSk	62	38°0'	18,6	21,2	23,1	10,4	12,4	13,7	27,7	31,8	34,6
Luqa	MLT		Csa	91	35°50'	19	20,6	22	13	14	15	26,9	29,2	31
Palermo	ITA		Csa	117	38°5'	18,4	20	21,6	11,5	12,1	13,2	26,7	29,2	31,4
Podgorica	MNE		Cfa	33	42°22'	15,1	17,9	19,9	5,5	7,8	9,1	26,5	31,2	33,9
Florenzia (Firenze)	ITA		Cfb	38	43°47'	15,2	17,8	19,7	7	9,1	10,6	25,8	29,5	32,4
Valencia	ESP	B3	BSk	62	39°30'	17,4	19,9	21,7	10,1	12	13,2	25,7	29,7	32,8
Mostar	BIH		Cfb	108	43°19'	14,6	17,4	19,4	3,8	6,2	7,6	25,6	30,2	32,8
Madrid	ESP	D3	Csa	582	40°27'	14,4	17,2	19,3	5	6,9	8,1	25,5	30,4	33,5
Palma	ESP	B3	Csa	7	39°32'	16,7	18,7	20,2	9,5	11,2	12,4	25,4	28,2	30,2
Lisboa	PRT		Csa	114	38°46'	17,4	19,4	20,9	11,2	12,7	13,7	25	27,4	29,1
Alexandroupoli	GRC		Csa	3	40°50'	14,5	17,3	19,3	5,2	7,4	8,7	25	29,7	32,3
Milan (Linate)	ITA		Cfa	103	45°25'	13,6	16,3	18,3	2,2	4,1	5,6	24,3	28,6	31,8
Roma	ITA		Csa	3	41°47'	15,9	18	19,7	8,5	10,3	11,6	24,2	27,4	29,8
Pescara	ITA		Cfa	11	42°25'	14,9	17,4	19,2	6,6	8,6	9,9	24,1	28,1	30,9
Barcelona	ESP	C2	Csa	6	41°16'	16,1	18,3	20,1	9,3	11,1	12,3	24	27,9	30,8
Perpignan	FRA		Cfa	47	42°43'	15,6	17,8	19,5	8,8	10,3	11,5	24	28,1	31,2
Nimes	FRA		Csa	62	43°52'	14,8	17	18,7	6	8	9,3	23,9	27,7	30,5
Portoroz	SVN		Cfb	95	45°31'	13,8	16,6	18,7	3,8	6,3	7,8	23,6	28,3	31,5
Pamplona	ESP	D1	Cfb	453	42°46'	12,3	14,4	16,1	4,3	5,7	7	20,7	24,6	27,7
Grenobles	FRA		Cfb	386	45°20'	11,1	13,7	15,6	1,4	3,6	5	20,1	24,7	28,3
Leon	ESP	E1	Csb	914	42°34'	10,5	12,1	13,5	2,1	3,6	4,5	19,3	21,7	23,7
Porto	PRT		Csb	77	41°13'	14,4	16,3	17,8	9,4	11	12	19,2	22,2	24,3

Tabla 2B Relación de ciudades seleccionadas atendiendo a las temperaturas medias (anuales, mes más frío, mes más cálido) y escenarios de cambio climático

Fuente Datos climáticos de 2000 ASHRAE

Actualmente, y se acrecienta en las predicciones a futuro, se aprecia una tendencia de aumento de los CDD (con base 27°C) y la disminución de los HDD (con base 18°C). Esto evidencia, apoyado además por las predicciones de subida de las temperaturas, la necesidad cada vez mayor de refrigerar los edificios. Este aumento de necesidad de refrigeración va unido a un aumento de horas de discomfort térmico que experimentan los usuarios de las viviendas, sobre todo de aquellas que no disponen de sistemas de refrigeración, que son un importante porcentaje del total, ya que muchos edificios no están preparados para estas proyecciones de temperaturas.

3. CONDICIONES INTERIORES DE LOS EDIFICIOS PARA EL CONFORT Y SALUD DE LAS PERSONAS

3.1. TEMPERATURAS Y SALUD

La temperatura en el interior de las viviendas está directamente relacionada con la salud humana. Los umbrales de temperatura que resiste el cuerpo humano y sus posibles enfermedades asociadas, tanto por frío como por calor, se estudian según rangos de edad y género.

A. INVIERNO

La Organización Mundial de la Salud ([World Health Organization 1987](#)) establece que no hay riesgo para la salud para las personas entre 18-24°C (rango establecido para un uso sedentario, arropamiento apropiado...). Por ello, recomienda una temperatura mínima de 21°C en salones y 18°C en el resto de las habitaciones en régimen de invierno. Sin embargo, para ciertos grupos, como las personas enfermas y/o mayores, la temperatura mínima recomendada es de 20°C en toda la vivienda.

De manera general puede establecerse que con una temperatura menor de 16°C la resistencia respiratoria baja y con temperaturas menores de 12°C la presión sanguínea sube debido a la compresión de los vasos sanguíneos lo que puede provocar fallos cardíacos y mala circulación. Además, el sistema inmunológico se deprime por lo que existe el riesgo de sufrir más infecciones. ([Wright 2004](#)). También hay una serie de problemas crónicos asociados al frío como son: riesgo de fiebre, neumonía, asma y artritis ([World Health Organization 1987](#)).

Además, estas bajas temperaturas interiores son las responsables, en todos los países estudiados, del fenómeno conocido como **“Excess winter mortality”(EWM)** que consiste en *“the difference between the number of deaths in December – March and the average of deaths in the preceding August – November and the following April – July”* ([Dear & McMichael 2011](#)). Este mismo estudio establece que, *“excess winter deaths occur in both cold and warm housing. However, there is a greater risk of death in colder housing than in the warmest housing (have estimated that 21.5% of all EWD can be attributed to the coldest quarter of housing)”*. Estas muertes son debidas a las bajas temperaturas interiores que se dan en algunas viviendas a las que las personas están expuestas de manera continuada y que provocan problemas que derivan en casos de muerte, principalmente debidos a problemas circulatorios (*“Excess winter deaths that are attributable to circulatory diseases are*

estimated to be between 40% and 50%” ([Dear & McMichael 2011](#))) y malas recuperaciones de padecimientos crónicos.

El EWM poco tiene que ver, por paradójico que parezca, con las frías temperaturas exteriores y lo extremo del clima. Es lo que se conoce como la **“Paradoja del Invierno”** que responde a que la tasa de EWM es mucho mayor en países con inviernos templados que en países nórdicos a pesar de que estos tienen inviernos mucho más duros y extremos ([Tabla 3](#)). Esta paradoja se cumple ya que el EWM depende de las temperaturas interiores de las viviendas, y no tanto de las exteriores, y de otros factores ajenos al clima que se exponen a continuación.

Según el estudio llevado a cabo por Healy ([Healy 2003](#)) son tres los factores fundamentales que intervienen en este exceso de mortalidad y que pueden explicar por qué la ésta es mayor en el Sur de Europa: Environmental Factors (social, economic, natural), Healthcare provision and health expenditure and Environment and lifestyles.

De dicho estudio se extrae que todas estas muertes derivan de factores que no son precisamente los climáticos ([Tabla 4](#)). El CSMV (Coefficient of seasonal variation in mortality) es mayor cuanto menor es la renta per cápita del país, menos dinero se destina a la sanidad y por tanto la pobreza energética es mayor.

Esto pone en alza que es un problema que puede solucionarse ya que se tratan de factores humanos en los que puede intervenir y no del clima en sí mismo.

Uno de los motivos clave en el aumento o disminución de esta mortalidad es la eficiencia energética y la calidad de las envolventes de las viviendas. En el norte de Europa las viviendas son energéticamente mucho más eficientes lo que, junto con otros factores, lleva asociado menores niveles de pobreza energética a pesar de que las temperaturas exteriores son mucho más extremas que en el sur ([Liddell & Morris 2010](#)).

Por tanto, si la capacidad de una población para protegerse de los períodos de frío es un factor clave que define esta mortalidad estacional, parece entonces que mejorar los estándares térmicos de la vivienda podría ser una intervención preventiva eficaz para frenar el exceso de muertes. Además, esta estrategia también contribuiría a aliviar la pobreza energética, que, según este estudio, es también más alta en los países de Europa del Sur ya que el gasto para calentar las viviendas sería mucho menor.

Country	Winter 2002/2003–Winter 2010/2011	
	Total number of excess deaths	EWDI (95% CI)
Portugal	74708	29.9%
Spain	198861	18.6%
Greece	27014	9.8%
Italy	248802	15.2%
Estonia	5828	11.9%
Denmark	19178	12%
Iceland	474	8.5%
Finland	13091	9.2%

Tabla 3 Total excess deaths and mean EWDI for Europe for the period 2002/2003–2010/2011
Fuente: Extraído de ([Fowler et al. 2015](#))

Country	CSMV* Winter 1988-1997	Mean winter temperature	Rent per capita (\$)	Health expenditure per capita (\$)	Fuel poverty rate
Portugal	0.28	13.5 °C	12200	1142	50%
Spain	0.21	6.5 °C	13700	1182	32%
Greece	0.18	11.6 °C	12200	1226	33%
Italy	0.16	6.4 °C	18600	1539	14%
Belgium	0.13	3.7 °C	20300	1759	10%
Denmark	0.12	2.1 °C	20400	1931	4%
Netherlands	0.11	4.3 °C	18800	1874	6%
Finland	0.10	-3.50 °C	17600	1520	5%

Tabla 4 Relación entre CSMV y diferentes factores que influyen en él (Inviernos 1988–97)

Fuente Extraído de (Healy 2003)

*CSMV: Coefficient of seasonal variation in mortality in EU-14 (1988–97)

B. VERANO

El aumento de olas de calor, cada vez más frecuentes, más duraderas y con temperaturas más extremas, lleva asociado un aumento de la mortalidad en periodos estivales. “Stronger associations were found between heat and mortality from respiratory diseases, and with mortality in the elderly” (Baccini et al. 2008).

Sin embargo, no se puede generalizar con los **umbrales de temperatura** a los que se asocian estos riesgos ya que varían según la zona geográfica que se esté estudiando. “La estimación metaanalítica del umbral de temperatura admisible para las ciudades mediterráneas fue de 29,4°C y de 23,3°C para las ciudades norte-continetales” (Baccini et al. 2008) (Figura 8). Esto se debe, entre otros motivos, a la adaptación socio-cultural ante el calor y a las rutinas diarias asentadas en los países de la zona mediterránea que tienen más en cuenta las altas temperaturas que en los países más al norte de Europa.

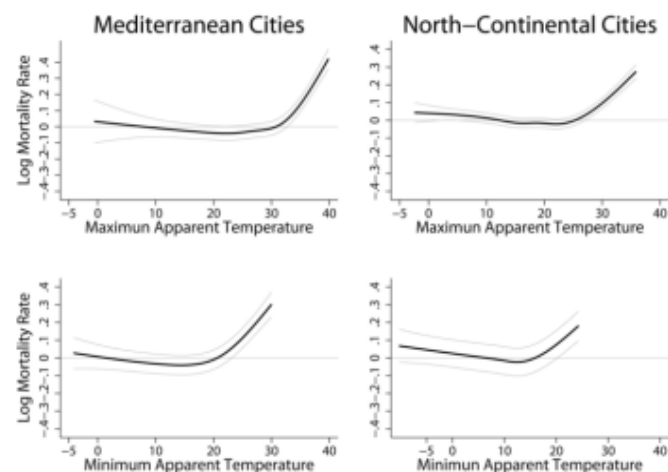


Figura 8

Fixed effects metaanalytic curves (pointwise 95% confidence bands) describing, on log scale, the adjusted effect of daily maximum (top) and daily minimum (bottom) apparent temperature at lag 0–3 on natural mortality. The left panel illustrates metaanalytic curves for Mediterranean cities (excluding Barcelona). The right panel shows the same curves for north-continental cities.

“Mediterranean” cities: Athens, Rome, Barcelona, Valencia, Turin, Milan, and Ljubljana
 “North-continental” cities: Prague, Budapest, Zurich, Paris, Helsinki, Stockholm, London, and Dublin.

Fuente Extraído de (Baccini et al. 2008)

Además, “el cambio general estimado en la mortalidad natural asociada con un aumento de 1°C de la temperatura aparente máxima por encima del umbral específico de la ciudad es de 3,12% en la región mediterránea y 1,84% en la región norte-continental” (Baccini et al. 2008). Esto se debe a que las temperaturas en las que se produce este exceso de mortalidad son mucho más altas y extremas.

3.2. CONDICIONES DE CONFORT EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS RESIDENCIALES

Existen dos grandes aproximaciones al establecimiento de las condiciones de confort térmico que vamos a establecer: los modelos estadísticos basados en el **Voto Medio Estimado** (PMV) y los **modelos de confort adaptativo**.

El primero fue originariamente propuesto por Fanger (1970), es el más conocido y forma parte de los estándares de confort internacionales más importantes UNE EN ISO-7730:2006, UNE EN 15251:2008 y ASHRAE-55:2010. Es aplicable a edificios acondicionados mecánicamente, y se basa en la correlación entre las impresiones subjetivas de bienestar de un grupo de personas, y los parámetros de confort más importantes (temperatura del aire y radiante, velocidad y humedad del aire, tasa metabólica del individuo y el aislamiento de la ropa). Este índice predice el principal voto de confort de un grupo de personas, y puede asociarse con la escala de Porcentaje Estimado de Insatisfechos (PPD).

Diversos estudios critican su sobreestimación del disconfort, y que se aplica en condiciones estáticas de laboratorio (y por tanto no reales), y que desfavorecen a arquitectura pasivas que necesitan acoplarse a las condiciones exteriores del lugar para funcionar de modo satisfactorio.

Por otro lado, el modelo de confort adaptativo propone una relación directa entre la temperatura exterior y la temperatura de confort interior de un edificio, y está especialmente indicado para evaluar el confort en edificios sin sistemas mecánicos de acondicionamiento térmico, y donde los usuarios pueden interactuar con el edificio (abriendo ventanas, usando un ventilador, etc.) y además pueden modificar su código de vestimenta y de tipo de trabajo. La normativa (ASHRAE55-2013 n.d.) ya la incorpora como alternativa para edificios acondicionados naturalmente, la ISO 7730

habla de la “adaptación” en zonas o en épocas del año cálidas como posibilidad, y la introducción como alternativa de la UNE EN 15251. El modelo de ASHRAE-55 y UNE EN 15251 es conceptualmente similar en ambas normativas, aunque existen algunas diferencias que hacen que no se puedan comparar directamente (Nicol & Humphreys 2010). Las bases de datos para los modelos son diferentes, y provienen de proyectos distintos; la clasificación para los edificios que son de aplicación es diferente, la derivación de la temperatura neutra es diferente, y la temperatura exterior se define de un modo distinto. Tiene la desventaja de que los rangos son más permisivos y a veces pueden rozar el desconfort, lo que constituye precisamente su talón de Aquiles, y el punto que hay que tener muy en cuenta para no obtener resultados contrarios a los perseguidos.

En cuanto a la normativa que es de aplicación en España, el CTE-HE “Ahorro de energía” tiene en cuenta las condiciones térmicas interiores de confort de los usuarios, y el patrón de uso está basado en la norma ISO 7730. En el Apéndice C “Perfiles de uso”, se recoge el perfil de uso normalizado para edificios residenciales, estableciéndose 17-20°C en invierno, y una temperatura máxima de entre 25-27°C en verano (HE 2013).

Es fundamental conocer y considerar el ambiente exterior de un edificio como un elemento fundamental para alcanzar el confort dentro del mismo mediante estrategias pasivas.

Sin embargo, no solo hay que tenerlo en cuenta desde el punto de vista térmico ya que también influyen en él, y de manera muy importante, el ruido ambiente, el tráfico, la contaminación, seguridad... De hecho, debido a estos factores, muchos usuarios de las viviendas no ventilan correctamente los espacios interiores ya que el único sistema de ventilación consiste en la apertura tradicional de las ventanas. Esto hace que se prefiera no abrir las ventanas, provocando espacios interiores viciados con temperaturas inconfortables (Henshaw & Guy 2014) lo que puede derivar en problemas de salud anteriormente descritos.

Por ello, vemos que las nuevas ciudades y modos de vida nos imponen retos a la hora de dar soluciones a hábitos naturales. A pesar de ello, no se debe caer en el error de pensar que las nuevas tecnologías son la solución idónea en exclusiva ya que muchas de ellas generan un ambiente interior irritante de sonidos, olores... aunque consigan el confort térmico. Por ello, hay que pensar en todos los retos y problemas que puede plantear el contexto del edificio desde el diseño proyectual ya que, como dice Hershong, “*the best thermal environment never needs to be noticed*” (Heschong 1978).

4. POBLACIÓN VULNERABLE

La vulnerabilidad se entiende como *“The propensity or predisposition to be adversely affected. Vulnerability encompasses a variety of concepts and elements including sensitivity or susceptibility to harm and lack of capacity to cope and adapt”*. (IPCC 2014a)

La población vulnerable tratada en esta review se configura en tres grandes grupos: la población envejecida, las personas con minusvalías y/o con enfermedades, y los usuarios en situación de pobreza energética.

Estos grupos son, además, los que más pueden padecer las consecuencias derivadas del cambio climático en sus viviendas, ya que pasan más tiempo en las mismas debido a distintos factores derivados de su situación vulnerable. A esto se suele sumar el poco o nada de dinero invertido en la rehabilitación de sus edificios provocado precisamente por los bajos ingresos de dichos grupos o a que un gran porcentaje de ellos se encuentran en régimen de alquiler en viviendas baratas (esta economía de precio se justifica en el mal estado de las mismas) las cuales necesitan fuertes rehabilitaciones debido a su estado.

Es importante conocer la proyección a futuro de la población y la constitución de la misma ya que constituye los usuarios de los edificios del futuro los cuales se están construyendo ahora o que ya se han construido. *“It is estimated that 70% of houses that will be in use in 2050 have already been built”*-(Porrirt et al. 2011).

En las predicciones a futuro de la población de la EU en su conjunto se aprecia una reducción de la población (Figura 9) en la que los estratos que crecen con referencia a su estado actual son el de personas mayores de 65 años (de 13,6% a 16,4%) y especialmente el de mayores de 80 años (de 5,3% a 12,3%) (Figura 10) lo que presenta una sociedad con un engrose de uno de los principales grupos vulnerables.

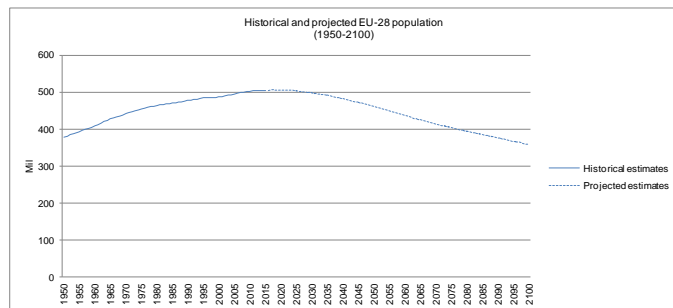


Figura 9 Historical and projected EU-28 population 1950-2100
Fuente European Environment Agency (EEA n.d.)

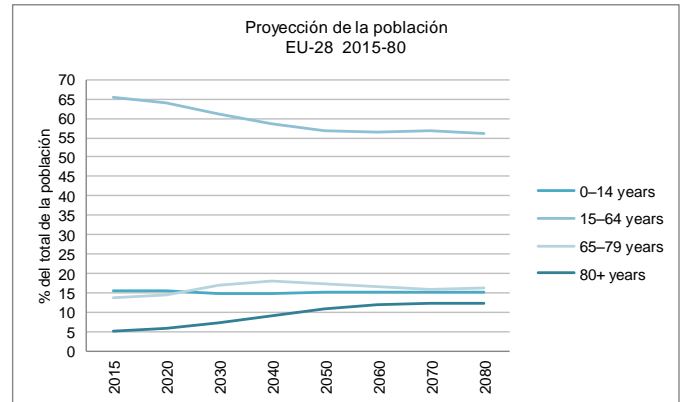


Figura 10 Proyección de la población por estratos de edad
Fuente (EUROSTAT n.d.) Online Data Codes

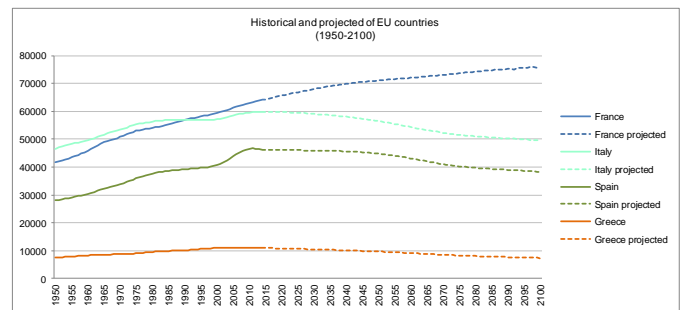


Figura 11 Historical and projected populations of the ten most populous EU countries 1950-2100
Fuente European Environment Agency (EEA n.d.)

4.1. POBLACIÓN ENVEJECIDA (“AGEING”)

En EU-28, en el año 2080, las predicciones establecen que las personas dependientes mayores de 65 años representarán algo más del 50% de la población (Figura 12).

En España, en el año 2050, las personas mayores de 65 años representarán más del 30% del total de la población, y los mayores de 80 años llegarán a superar la cifra de cuatro millones, según la Fundación General CSIC (CSIC 2010).

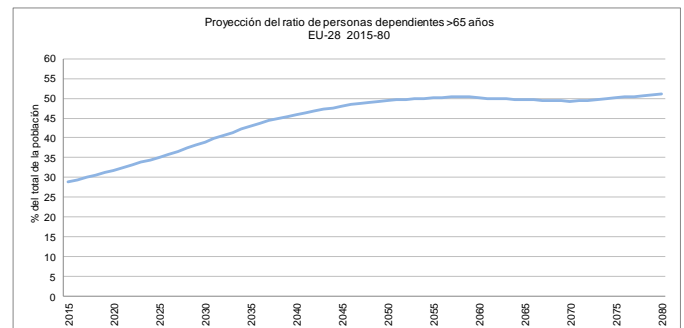


Figura 12 Proyección del ratio de personas dependientes >65 años EU-28 2015-80
Fuente (EUROSTAT n.d.) Online Data Codes

Además del estudio de las proyecciones a futuro, actualmente ya se tienen certezas de los cambios que se están dando en los distintos estratos de edad del conjunto de la sociedad europea. Se ha producido un aumento considerable en el porcentaje de la población envejecida (Figura 13) lo que lleva asociado un notable número de viviendas con ocupantes mayores de 65 años (Figura 14).

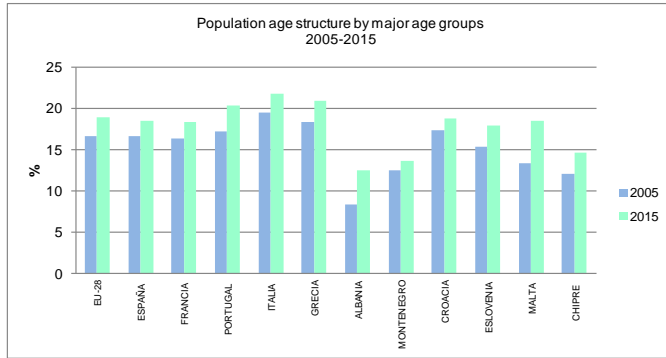


Figura 13 Aumento del porcentaje de personas mayores de 65 años sobre el total de la población

Fuente (EUROSTAT n.d.) Online Data Codes

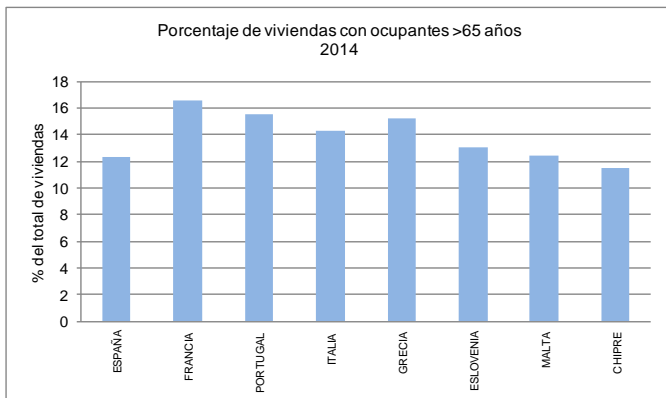


Figura 14 Porcentaje de viviendas con ocupantes de edades mayores de 65 años

Fuente (ENTRANZE n.d.)

Este grupo es, en general, uno de los tipos más vulnerables a sufrir pobreza energética y tener menos capacidad de adaptación al cambio climático. Esto se debe a que, normalmente, estas personas debido a su edad viven en viviendas antiguas que tienen mayores pérdidas energéticas por lo que calentarlas o enfriarlas supone un mayor coste económico que en muchos casos no suele ir acompañado de altos ingresos (la mayor parte son pensionistas). Además, la inversión para rehabilitar estos edificios suele ser alta y muchos de los residentes no pueden afrontarla o no ven clara la necesidad de llevarla a cabo por la desconfianza de ver resultados, el largo tiempo de amortización de las mismas en relación a sus expectativas de años de vida, o simplemente por la incomodidad que puede suponer la rehabilitación en sí misma en sus rutinas diarias.

Si bien es verdad que la vulnerabilidad de esta población se reduce si se opta por su ingreso en residencias, la tendencia actual se dirige a no institucionalizar a estas personas y conseguir reducir o incluso mitigar esta vulnerabilidad mediante intervenciones sociales o de rehabilitación de sus edificios residenciales.

A. PARÁMETROS DE CONFORT PARA PERSONAS MAYORES

El Código Técnico de la Edificación establece que el rango de confort en viviendas, según una serie de perfiles de uso normalizados, se encuentra entre 17°C-20°C en régimen de invierno y una temperatura máxima de entre 25-27°C en régimen de verano (HE 2013). Hay que tener presente que estos patrones de uso se referencian a adultos sanos que tienen una vida activa fuera de casa. Sin embargo, estas personas (ageing) pasan la mayor parte del día en sus viviendas y con una actividad bastante reducida a la que se le suma los cambios en su metabolismo y el padecimiento de posibles enfermedades. Por ello, el rango de confort varía a 18-24°C. *“people are likely to be at home all day is a temperature of 23°C in the main living area and 18°C in other occupied rooms for 16 hours a day.”* (Wright 2004)

El confort en la vivienda va más allá de las condiciones térmicas sobre todo cuando se trata de personas que pasan tantas horas en ella. Por ello, a la hora de acometer las rehabilitaciones pertinentes para conseguir el confort térmico, hay que tener muy en cuenta:

- Estas personas mayores tienen experiencia en saber cómo mantener el confort en las viviendas de manera “natural” y no se debe ir “en contra” de estos conocimientos. Como dice (Loughnan et al. 2014) *“In addition to greater vulnerability to the effects of climate change, older people have much to offer the community in terms of what they have learned from a lifetime of responding to heat events, especially prior to the advent of air conditioners”*.
- Mantener estímulos sensoriales (non-thermal information), es decir, conseguir mayores eficiencias energéticas manteniendo la exposición a los estímulos exteriores.

Por ello, hay que ser críticos con las viviendas demasiado herméticas o mecanizadas ya que pueden recluir demasiado a esta población dentro de sus viviendas (Guy et al. 2015) generando una solución contraproducente de mayor ahorro energético pero menor confort a nivel personal.

B. CAMBIOS EN EL METABOLISMO

La tasa metabólica de las personas mayores en la realización de tareas diarias es menor que a un adulto medio sano (Figura 15A).

Sin embargo, se da la paradoja de que el MET relacionado con la velocidad (MET relativo: MET/metrosegundo) es mayor conforme la edad aumenta (Figura 15B). Según el estudio de (Knaggs et al. 2011), *“Metabolic costs of physical activities, particularly those that require mobility, tend to rise with age. Poor efficiency of movement, exacerbated by coactivation of antagonistic muscle groups, is partially responsible for high costs of mobility in older persons”*. Esto desencadena en que muchas de estas personas mayores se muevan lo menos posible debido a este sobreesfuerzo que les suponen actividades normales dentro del día a día.

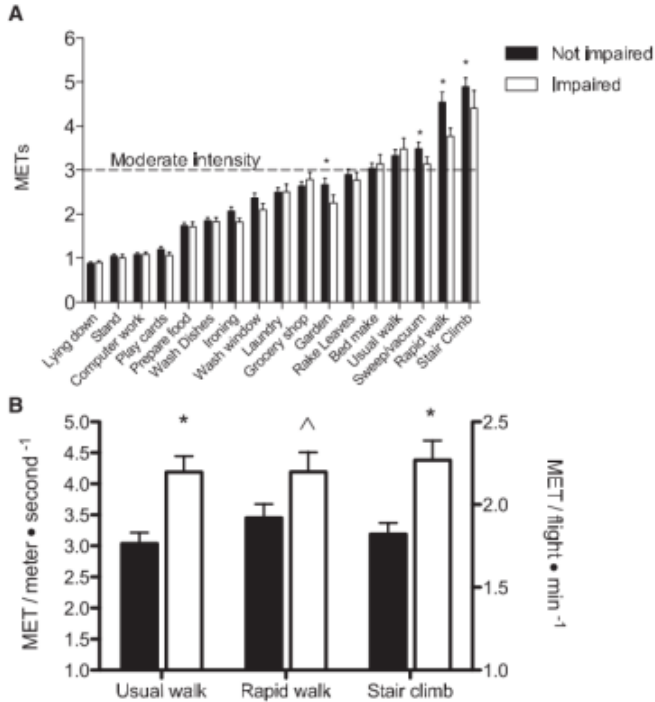


Figura 15 MET and MET/meter second
Fuente Extraído de (Knaggs et al. 2011)

C. MORBILIDAD Y MORTALIDAD ASOCIADAS A LAS TEMPERATURAS INTERIORES DE VIVIENDA

Se entiende como morbilidad el número de personas que enferman en una población y periodo de tiempo determinados mientras que la mortalidad responde al número de defunciones que se producen con esas mismas premisas. En este punto se va a tratar estos dos aspectos durante periodos de olas de calor por ser una de las situaciones que más se van a producir a futuro.

“The effect of heat was particularly large in the elderly. For people aged 75 and older, we estimated that a 1°C increase in maximum apparent temperature above the threshold was associated with an increase in mortality for all natural causes of 4.2% for the Mediterranean region and of 2.1% for the north-continental region.” (Baccini et al. 2008).

Precisamente esto es debido a los cambios que se experimentan en el metabolismo de las personas mayores y a la mayor dificultad de regular la temperatura corporal.

Un ejemplo de ello fue el exceso de mortalidad asociado a la ola de calor en Francia en verano de 2003. Las muertes en personas mayores de 85 años fueron mucho mayores que en periodos anteriores sin olas de calor (Figura 16).

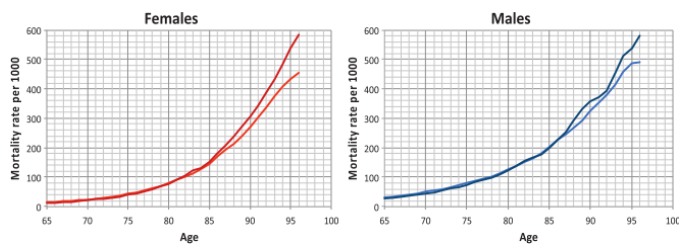


Figura 16 Exceptionally high mortality rates during the summers of 2003 and 1998–2002, by sex and age Dark:2003; Light:1998–2002
Fuente Extraído de (Robine et al. 2012)

Además, el estudio realizado por CADOT sobre esta ola de calor en Francia en Agosto de 2003, establece que *“the most important risk factors for dying during the heat wave of 2003 were being a woman 75 years old and older and living alone at home. Parisians who were unmarried (and more frequently live alone) were also at higher risk of death than those who lived as couples. Higher risk associated with gender (being a woman), however, did not apply to foreign nationals. Older women, particularly those from Africa and Asia in contrast to French women –live, more often, in multigenerational families with stronger mutual support and social networks; hence a lower risk of social isolation”* (Cadot et al. 2007)

Extreme heat exposure can occur both outdoors and indoors but it is reported that the majority of excess deaths in Paris occurred at home. Although the heat-related health problems are attributable to extreme outdoor heatwaves, building design and retrofitting can play a significant role in sheltering occupants from exposure to extreme outdoor environment. Thus, proper building design and retrofitting may reduce heat-related excess deaths for houses with no installed air conditioners or without air conditioning due to power failure.

D. DEMENCIA

“There are an estimated 6 million (mainly older) people with dementia in the European Union. The vast majority of them live at home, where they are largely dependent on (in)formal care (van Hoof et al. 2009). Dementia is the loss of cognitive function of a sufficient severity to interfere with social or occupational functioning. Alzheimer’s disease is the most important cause” (van Hoof et al. 2010).

Estas personas no solo presentan los cambios en el metabolismo propios de la edad, anteriormente expuestos, sino que son incapaces de tener una respuesta mental que les permita adecuar el ambiente interior o simplemente mostrar su estado de disconfort. Por ello, hay que tener muy en cuenta qué tipo de población va a habitar los edificios y hacia donde nos dirigimos siendo incluso muy críticos con las categorías del método de confort del PMV en edificios residenciales ya que suponen adultos medios sanos física y mentalmente y no todos los habitantes cumplen con esa calificación.

4.2. POBREZA ENERGÉTICA

Hoy en día, existen numerosos estudios y métodos de valorar este fenómeno. Originalmente definida por Brenda Boardman en 1991, se encuentran en situación de pobreza energética, aquellos hogares que son incapaces de mantener su vivienda a una temperatura adecuada en invierno y en verano. De modo que se establece que los hogares que **requieren un 10% o más de sus ingresos para alcanzar los estándares de la WHO, anteriormente expuestos, se encuentran en pobreza energética.**

Según el tercer estudio de pobreza energética en España del 2016 (ACA) ésta se entiende ahora como la consecuencia de una condición más extensa y difusa denominada vulnerabilidad

energética, definida como la probabilidad de un hogar a experimentar una situación en la que dicho hogar no recibe una cantidad adecuada de servicios de la energía (Bouzarovski & Petrova 2015). La pobreza energética se entiende como una condición global que afecta a las poblaciones vulnerables tanto de países del sur como del norte global. Este enfoque explica la pobreza energética como una condición temporal causada por condiciones estructurales y coyunturales que van más allá de la triada de factores tradicionalmente considerados (ingresos del hogar, precios de la energía y eficiencia energética de la vivienda (Hills 2011)).

En este estudio también se quiere destacar la relación recíproca entre estos hogares y aquellos con problemas de salud.

Además, el 30% del conjunto de la población de estos países es incapaz de mantener su casa suficientemente fresca en verano, 2/3 de estos hogares se consideran pobres en ingresos, mientras que el 70% de ellos tienen más de 65 años de edad (Bouzarovski 2013).

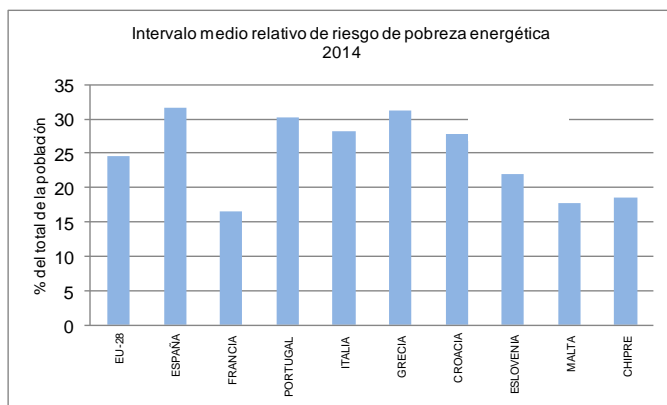


Figura 17 Intervalo medio relativo de riesgo de pobreza
Fuente (EUROSTAT n.d.) Online Data Codes (Datos 2014)

Según el estudio de ACA, la pobreza energética en España se ha incrementado mucho desde que empezara la crisis económica en 2007. Destaca que en el año 2014, 5,1 millones de personas no podían permitirse mantener su vivienda a una temperatura adecuada en los meses fríos (lo que supone un 11,1% de los hogares en España, frente al promedio de UE del 10,2%), un 8% de hogares (3,2 millones de personas) viven en un hogar con más de un retraso en el pago de las facturas de las viviendas (frente al promedio del 9,9% de la UE), y 16,6% hogares (7,8 millones de personas) tienen goteras, humedades o pobredumbre en la vivienda (ACA). Según dicho informe, un 15% de los hogares (6,2 millones de personas) gastaba en 2014 más del 10% de sus ingresos en energía.

En los ocho países de la UE que bordean el mar Mediterráneo el 16,6% de la población ha informado que «no pueden mantener su hogar adecuadamente caliente» (Figura 17) mientras que el indicador de pobreza compuesto alcanza el 43,58%. Esta situación se da debido, entre otros factores, a la mala calidad de la construcción y sistemas de calefacción inadecuados.

A. POBREZA ENERGÉTICA Y SALUD

Los efectos de la pobreza energética sobre la salud están relacionados con la mortalidad adicional de invierno y de verano, así como con la prevalencia de ciertas enfermedades en poblaciones vulnerables como los niños y los ancianos.

Según los estudios de (Analitis et al. 2008) y (Critchley et al. 2007) vivir en situaciones de pobreza energética deriva en problemas de salud física como fallos respiratorios y problemas coronarios en los adultos. Los efectos en niños y lactantes son más evidentes que en los adultos ya que pasan más tiempo en casa y son menos propensos a moverse. Los lactantes presentan menos ingesta de calorías con todos los problemas asociados que de esto deriva. Además, los problemas respiratorios eran más de dos veces más frecuentes en los niños que vivían 3 años o más en hogares en situaciones de insuficiencia para calentar las viviendas (15%), en comparación con los niños que nunca habían vivido en hogares difíciles de calentar durante los últimos 5 años (7%).

Además las situaciones de pobreza energética dan lugar también a problemas de salud mental. En los adultos, se presentan numerosos casos de ansiedad y depresión debido a la estancia continuada en estancias con frío y también a las connotaciones y la exclusión social derivada de la situación de pobreza energética. En los niños, estos estudios evidenciaron que aquellos que viven en casas en situación de pobreza energética faltan a la escuela un 13% de los días frente a un 3% de días que faltan los que se encuentran en viviendas sin problemas para ser calentadas. Además, en el estudio realizado por (Liddell & Morris 2010) they find “that 27% of teenagers from homes without affordable warmth were worried about bullying and mugging, compared with 15% of teenagers who lived in warmer homes”.

4.3. POBLACIÓN CON MINUSVALÍAS Y ENFERMEDADES DE LARGA DURACIÓN

“Those living with long term illness or disability may also be particularly vulnerable to being fuel poor in the first place. This is because they are more likely to have low incomes, and may have greater energy requirements associated with their condition, or because they lead more sedentary lifestyles or spend more time in the home.

“People with pre-existing health conditions such as cancer may also be particularly vulnerable to the impacts of low temperatures. Although evidence on this type of vulnerability is sparser, Macmillan Cancer Support told us that 85 per cent of health care professionals who took part in a survey believed that feeling cold can affect a cancer patient’s recovery. Furthermore, the same survey showed that 77% of health workers reported evidence of patients experiencing pain as a result of low temperatures” (Hills 2011).

5. ARQUITECTURA RESIDENCIAL PASIVA EN CLIMAS MEDITERRÁNEOS

Of the 8.3 billion global population projected for 2030, approximately 60% will live in cities, up from 30% about 50 years ago. This amounts to an increase of approximately 67 million people a year seeking a living in urban environments (Zuo et al. 2015).

Para algunos autores (Brotas et al. 2016) este aumento de población en los núcleos urbanos tendrá consecuencias directas en el diseño de las viviendas: reducción de las áreas de piso útiles, diseños con habitaciones más profundas, alturas de techo más bajas...Lo que supondrá menor disponibilidad de luz diurna y/u oportunidades de ventilación entre otras consecuencias. Es decir, la configuración de tipología de vivienda (Figura 18) tal y como la conocemos hoy en día, así como los tamaños medios de superficie de las mismas (Figura 19), experimentarán cambios a futuro dando paso a mayor número de viviendas en bloque y de superficie menor.

Por otro lado, este aumento de los núcleos urbanos está potenciando el fenómeno de UHI "Urban Heat Island" que consiste en el incremento de la temperatura media en las zonas urbanas con respecto las temperaturas medias de la globalidad de la región en la que se emplazan. Este fenómeno, junto con el calentamiento debido al cambio climático, supondrá un aumento de las temperaturas medias y máximas así como de las olas de calor, tanto en su número y como en su duración.

De esta manera, en el futuro habrá un mayor número de viviendas con necesidad de refrigeración que en la mayor parte de los casos, ya en la actualidad, se soluciona con la instalación de aire acondicionado (Figura 20). Según el estudio de (Santamouris 2016) *the average cooling energy demand of the residential and commercial buildings in 2050, will increase up to 750% and 275% respectively*. Además, el coste económico adicional en electricidad para enfriar los edificios y así compensar el cambio climático en 2050 estará entre 22-89 billones euros al año y los costos para instalar aires acondicionados en 2050 entre 8 billones- 20 billones de euros.

Resulta contraproducente dar únicamente una respuesta ante las olas de calor que exacerbe el problema del cambio climático como, por ejemplo, el recurrente aire acondicionado. "Air conditioning is energy intensive and adds to greenhouse gas emissions; and there are many ways of adapting the environment and buildings and protecting individuals that are not energy intensive(Matthies et al. 2008). Además, "there is little doubt that air conditioning can be protective for vulnerable populations" (Matthies et al. 2008) ya que estos grupos vulnerables no podrán hacer frente a la instalación de dichos sistemas o a los gastos energéticos que se derivan de las nuevas condiciones de temperatura que se producirán a futuro.

La energía para refrigerar los edificios será una de las demandas de energía dominantes por lo que hay que desarrollar medidas energéticamente pasivas que puedan ayudar a minimizar costes, que no contribuyan al cambio climático y puedan reducir las temperaturas interiores de manera importante. Por ejemplo, según (Matthies et al. 2008) "Passive cooling of existing buildings can be achieved using natural ventilation, evaporative cooling, high thermal mass and night ventilation. Additionally, occupant behaviour and the

use of low-energy equipment indoors (to reduce the amount of heat produced indoors) can further keep the indoor temperature down. Thanks to these passive cooling measures, the room temperatures can be reduced by 2–5 °C or more. These measures are well known from old traditional houses in the Mediterranean regions"

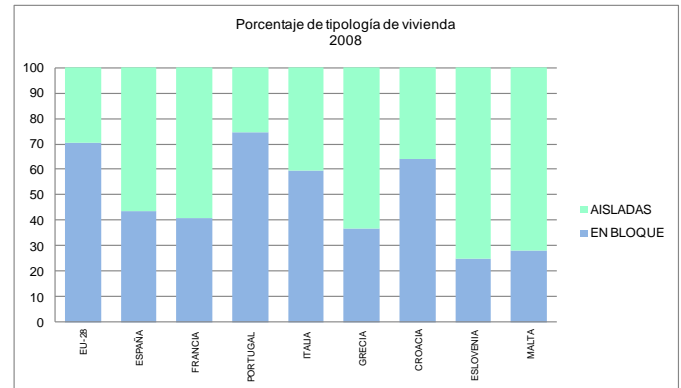


Figura 18 Porcentaje de viviendas según tipología

Fuente (EUROSTAT n.d.) Online Data Codes (Datos 2008)

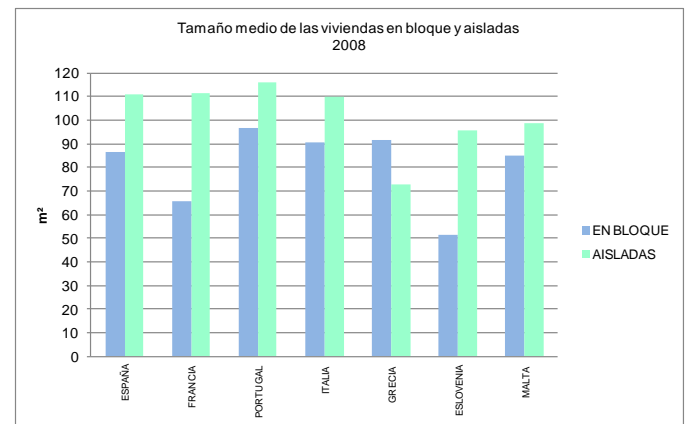


Figura 19 Tamaño medio de cada tipología de vivienda

Fuente (EUROSTAT n.d.) Online Data Codes (Datos 2008)

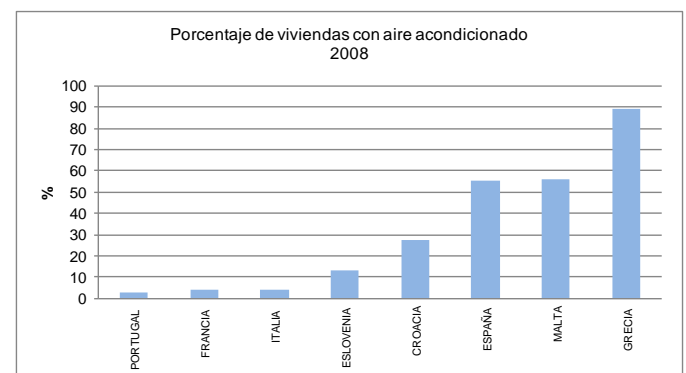


Figura 20 Porcentaje de viviendas con aire acondicionado

Fuente (ENTRANZE n.d.)

En la actualidad ya se percibe una tendencia desde el 2010 a intentar reducir el consumo necesario para refrigeración (Figura 21) y, a pesar de que las predicciones futuras presentan escenarios más desfavorables en verano, el consumo medio para calentar las viviendas también debe tender a reducirse, como ya se aprecia también en la dinámica desde 2010 (Figura 22). Este gasto también está directamente relacionado con la mejora de la eficiencia energética de las viviendas. En la (Figura 23) se evidencia, mediante valores medios de la transmitancia de la fachada (U), cómo los países de la zona mediterránea presentan unas envolventes energéticamente mucho más ineficientes que en el norte de Europa explicando así las peores condiciones interiores en las viviendas a pesar de presentar inviernos más templados, y la denominada “paradoja de invierno” en relación al EWM (ver apartado 3.1).

Por todo ello, ya no es únicamente necesaria para el futuro una arquitectura eficiente energéticamente o una arquitectura sostenible, sino que esta debe ser resiliente.

Implementada a la arquitectura, ésta hace referencia a:

- Adaptación a los cambios y futuros contextos diferentes
- Previsión de los posibles cambios a futuro para saber cómo afrontarlos sabiendo que muchas de las viviendas útiles dentro de 50 años han sido o están siendo construidas actualmente.
- Durabilidad: tener en cuenta que los edificios deben tener una larga vida útil y sus condiciones de contexto pueden variar
- Reducción de la dependencia de energía
- Diversidad de sistemas: mientras mayor diversidad haya más capacidad de responder a diferentes situaciones.
- Autosuficiencia local

Por otro lado es fundamental la idea de que la resiliencia en la arquitectura doméstica, sobre todo en edificios sociales, entiende a los usuarios como sujetos activos dentro del edificio. Esto supone la necesidad de un mayor conocimiento sobre la eficiencia energética de las viviendas y su funcionamiento así como una capacidad de adaptación de las propias personas.

De esta manera ya hay estudios que hacen referencia a los comportamientos que deben llevar a cabo los usuarios de los edificios para formar parte activa de esta arquitectura resiliente. Los artículos de (Matthies et al. 2008) y (Hatvani-Kovacs et al. 2016) aportan medidas de comportamiento frente a situaciones de olas de calor relacionadas con conseguir regular la temperatura del cuerpo humano mediante diferentes comportamientos - tomar duchas frías, vestir ligero y con colores claros, mantenerse hidratado, evitar bebidas azucaradas o alcohólicas, evitar actividades extenuantes, evitar salir al exterior en las horas centrales del día, planificar el día según la previsión meteorológica, moverse a la habitación más fría de la vivienda y/o pasar las horas más calurosas en lugares públicos refrigerados - y regular de manera “manual” la temperatura interior de las viviendas - cerrar las ventanas y bajar persianas durante el día y abrirlas a la noche cuando la temperatura exterior es más baja, tener un termómetro para poder controlar las temperaturas.-

Pero, además de estas conductas, para alcanzar estos edificios resilientes que deriven en interiores confortables para las personas, la arquitectura doméstica debe implementar estrategias energéticas pasivas tenidas en cuenta desde el inicio del proyecto, ya

sea obra nueva o rehabilitación. Para ello, se deben conocer los conceptos y las posibilidades que existen para saber cómo y sobre todo en qué situaciones emplearlas, ya que muchas veces su implementación apenas tiene eficacia en relación a su coste, ya que no todas las medidas que se pueden usar son óptimas para todos los proyectos o situaciones a mejorar.

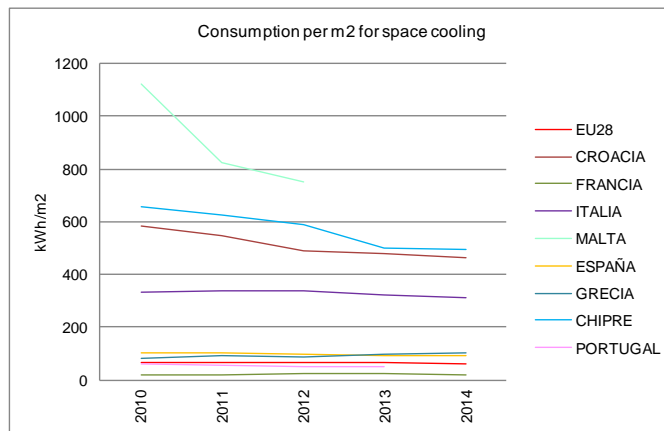


Figura 21 Consumo m² para refrigeración kWh/m²

Fuente (ODYSEE-MURE n.d.)

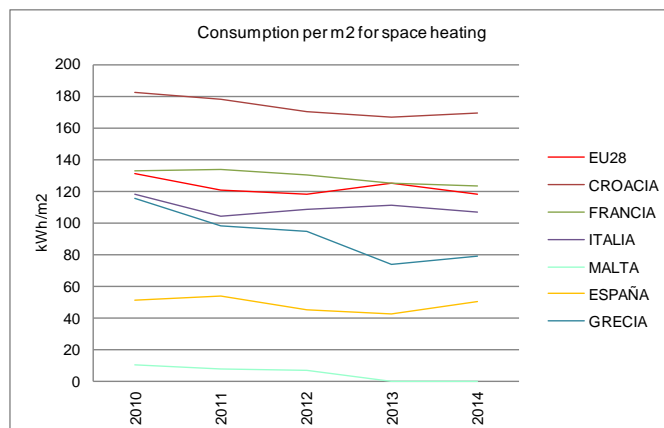


Figura 22 Consumo m² para calefacción kWh/m²

Fuente (ODYSEE-MURE n.d.)

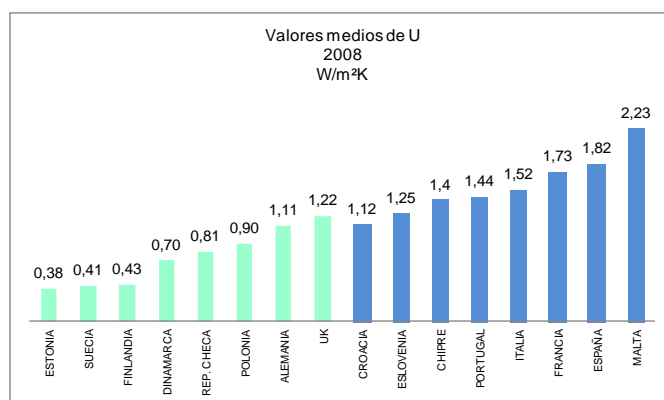


Figura 23 Valores medios de U en fachada

Fuente (ENTRANZE n.d.)

Para la documentación de este trabajo se ha realizado una revisión de artículos que abordan diferentes medidas pasivas aplicadas a edificios residenciales en escenarios futuros de cambio climático. No todos los artículos han sido de casos emplazados en zonas con climas englobados en este estudio, pero se ha considerado interesante conocer investigaciones sobre medidas pasivas que puedan abrir camino para futuras investigaciones en la zona mediterránea del Sur de Europa.

Es el caso de los siguientes estudios de los que se exponen sus conclusiones:

(Van Hooff et al. 2015) Simulación de tres tipologías distintas de viviendas con distintas medidas pasivas aplicadas (Holanda).

Increasing the thermal resistance of the building envelope increases the number of overheating hours, therefore, in well insulated buildings shading or additional natural ventilation should be provided to limit the number of overheating hours.

Adding operable exterior solar shading and lowering them when the solar radiation on the window is 150W/m² or larger has a very large effect on the number of overheating hours and degree hours. For the detached house and the terraced house the number can be decreased to almost zero, whereas for the apartment it can be reduced to around 200 w/m² in most cases.

(Brotas et al. 2016) Simulación de una vivienda tipo para los escenarios de cambio climático de 2030-2050-2080 (Londres).

Se concluye que los sistemas sombreado son fundamentales y deben ser exteriores al vidrio. Esto se debe tener en cuenta desde el inicio del diseño para favorecer la instalación, formas de mantenimiento y las alineaciones del planeamiento. La refrigeración nocturna minimiza la necesidad de aire acondicionado y la ventilación

cruzada es lo principal a tener en cuenta a la hora de diseñar la disposición de las estancias y la posición de las ventanas.

(Porritt et al. 2011) Simulación de una vivienda victoriana en año 2080 y en escenario de ola de calor (UK).

Se llega a la conclusión de que la protección solar por el exterior del vidrio (persianas) puede reducir hasta 1,7°C la temperatura interior mientras que el aislamiento por el exterior de la fachada reduce como máximo 1,4°C. La ventilación nocturna en situaciones "normales" (se excluyen las olas de calor) consigue reducir la temperatura hasta 2°C. Por otra parte, en el escenario de la ola de calor el aislamiento exterior en fachada se alza como the best single intervention for reducing the number of degree hours for both living rooms (43% reduction) and main bedrooms (32% reduction). External shutters have a slightly greater effect over the whole summer for living rooms (51% reduction).

Sin embargo, y ya que es el objetivo de este trabajo, se ha realizado un estudio más exhaustivo de artículos que investigan la incidencia de las medidas pasivas (Tabla 3) aplicadas específicamente en edificios residenciales de la zona mediterránea del Sur de Europa. También se han recogido las de Australia, debido a que es un continente que comparte muchos de los climas (según la clasificación Köppen-Geiger) que engloba esta región mediterránea (Csa, Cfa, Cfb, Bsk).

Los datos extraídos de los distintos estudios se presentan en dos partes: La primera (Tabla 5A), donde se exponen las referencias, emplazamiento de los mismos, la metodología empleada y los escenarios planteados, y la segunda (Tabla 5B), en la que se aportan las medidas implementadas y su valoración.

REFERENCIA	LOCALIZACIÓN	ESCENARIOS PREDICTIVOS DE CAMBIO CLIMÁTICO / HEAT WAVES	METODOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS ORIGINALES DE LA VIVIENDA
CLAVES	País, Ciudad y Clima (Koppen-Geiger)	Año y escenario de emisiones según IPCC	Monitorización y/o simulación	
(Karimpour et al. 2015)	Australia Adelaide(BSk)	Predicción año 2070	SIMULACIÓN (AccuRATE) Cálculo de las mejores combinaciones de medidas para calefacción + refrigeración	Edificio con fachadas de ladrillo
(Wang et al. 2010)	Australia Alice Springs(BSh), Darwin(Aw), Hobart(Cfb), Melbourne(Cfb) and Sydney(Cfa)	General Circulation Models (GCMs) Basado en tres posibles escenarios (A1B, A1FI and 550 ppm) desde 1990 - 2100	SIMULACIÓN (AccuRATE) Refrigeración + Calefacción de los diferentes localidades y escenarios, de la vivienda base, y las modificaciones necesarias para ser "2,5 y 7 estrellas"	Vivienda pareada de ladrillo Muros (U=0,75); Cubierta de azulejos de hormigón (color medio), vidrio simple con persianas holandesas Calefacción 20-18°C (estar-habitaciones) Refrigeración: El ajuste del termostato de refrigeración varía según la región climática (23.0 °C a 26.5 °C)
(Ren et al. 2014)	Australia Brisbane (Cfa) Melbourne (Cfb)	OLAS DE CALOR	SIMULACIÓN (AccuRATE) Escenario simulando las olas de calor de Brisbane (2004) y Melbourne (2009)	Vivienda aislada convencional sin aire acondicionado
(Hatvani-Kovacs et al. 2016)	Australia Adelaide(BSk)	OLAS DE CALOR	ENCUESTA (N=393) Explorar el medio ambiente construido y la adaptación	90% viviendas con refrigeración (toda la vivienda o alguna habitación) 25% de las viviendas sin sombreado La mayoría sin aislamiento y con baja masa térmica *POBLACIÓN VULNERABLE: pobreza energética
(Brotas & Nicol 2016)	Atenas (Csa), Lisboa (Csa), Roma (Csa) Munich (Cfb), London (Cfb) y Moscu (Dfb)	2020-2050-2080 (CCWorldWeatherGen)	SIMULACIÓN Sobrecalentamiento (CIBSE). -Criterion 1: Horas de excedencia (3% de las horas) (también UNE EN15251). -Criterion 2: Superación ponderada diaria -Criterion 3: Temperatura límite superior	Vivienda orientada a Sur y a Este Mid storey flat Uparedes=0,18; Uvidrio=1,4, g=0,63 Ocupación=24h 0,3r/h. Ventilación nocturna Persianas interiores
(Barbosa et al. 2015)	Portugal Lisboa (Csa)	M1. 2050 - 2080 (CCWorld WeatherGen) M2. Ola de calor2003	SIMULACIÓN (Energy Plus with Design Builder) Considerando Horas de desconfort (según STAT o ADAPT-15251)	Edificio residencial de pisos, 4 viviendas por planta, con una orientación cada una de ellas (E y O). Construcción pesada: muros de ladrillo (U=1,7), ventanas de vidrios dobles (U=2,4), carpintería de PVC, forjado de hormigón. *POBLACIÓN VULNERABLE: bajos ingresos
(Santamouris et al. 2010)	Grecia (Latitudes entre:37.5-38.7°N)	VERANO 2009	MONITORIZACIÓN (N=214 viviendas)	Mechanically air conditioned Quite high thermal mass level Single houses Surface ranges between 55m2 and 480m2
(Sakka et al. 2012)	Grecia Atenas (Csa)	Verano extremadamente cálido de 2007 (hot spells 30°C-33°C)	MONITORIZACIÓN (N=50 viviendas)	Sin aire acondicionado *POBLACIÓN VULNERABLE: bajos ingresos
(Pyrgou et al. 2017)	Italia Perugia (Cfb)	OLA DE CAL Año 2013 en Perugia se detectaron varias olas de calor	SIMULACIÓN Edificios residenciales con los datos de ese año para analizar los sobrecalentamiento	
(Mahdy & Nikolopoulou 2014)	Egipto Alexandria, Cairo, Aswan (BWh)	2020-2050-2080 (CCWorldWeatherGen)	SIMULACIÓN (Energy Plus with Design Builder) Dos edificios tipo con tres envolventes distintas: Ct. Media hasta de ladrillo rojo C1.7, 5 cm de GRC C2. 10 cm de GRC	Edificios B+5 con pisos de 85m2 con una media de 4 ocupantes por piso
(Gangoellis & Casals 2012)	España Barcelona(Csa), Valencia(Csa), Madrid(Csa)	2011-2040 2041-2070 2071-2100 Diferentes escenarios de emisiones (A2 y B2, según IPCC)	HDD y CDD	
(Saman et al. 2013)	Australia M1: Adelaide (BSk), Amberley (Cfb), Richmond (BSk) M2: Adelaide (BSk), Melbourne (Cfb), Brisbane (Cfa), Hobart (Cfb), Sydney (Cfa), Perth (Csa), Darwin (Aw)	M1: Ola de calor durante 4 días M2: 2030, 2050, 2070	SIMULACIÓN (AccuRATE) M1: Olas de calor – sobrecalentamientos (ASHRAE55:2013, Adapt): Simulación de 5 casos de estudio. M 2: Demanda de refrigeración: Simulación de 2 viviendas	Varias tipologías: principalmente unifamiliares y pareadas *POBLACIÓN VULNERABLE: bajos ingresos y población envejecida

Tabla 5A Referencias, emplazamiento de los estudios, metodología empleada y los escenarios planteados

REFERENCIA	A Control de radiación solar	B Control de transferencia de calor	C Medidas pasivas de evacuación del calor	D Control de la masa térmica como moduladora de energía	E Medidas activas de refrigeración	X Control de las estrategias para todo el año
CLAVES	Protección solar Tipo de vidrio (g) Orientación Diseño adecuado	Transmitancia de las envolventes Posición del aislamiento Estanqueidad al aire	Ventilación natural o mecánica Ventilación nocturna Efecto chimenea	Masa térmica frente a construcción ligera	Alta eficiencia energética Uso de renovables	Optimización energética y térmica (confort) anual con estas medidas
(Karimpour et al. 2015)	CUBIERTA Cubierta: absorción solar (baja 0.1) and foil Medidas efectivas	AISLAMIENTO TERMAL Aislamiento en fachada: externo e interno Vidrio: Doble Bajo Emisivo Aislamiento en cubierta (especialmente importante)		INERCIA Azulejos en vez de madera para revestimiento	Refrigeración	Calefacción y refrigeración. Con las mejores combinaciones de medidas, se obtiene un mayor consumo energético en TMY2070 que en la actualidad TMY (56.8 frente a 46.5MJ/m2a), reduciéndose el porcentaje de calefacción respecto del total (0.13% frente a 0,395%)
(Wang et al. 2010)		AISLAMIENTO TERMAL Y HERMÉTICA Muros (por el exterior), en la cubierta y en el suelo Mejoras en la carpintería (de aluminio a madera) Dobles vidrios Control de infiltraciones				Los edificios más eficientes experimentarían menos cambios en los requerimientos energéticos a futuro Dependiendo del clima, el total calefacción (C) + refrigeración (R) varía en la proyección a futuro: si lo predominante es refrigeración o C+R, resulta un incremento total de energía.
(Ren et al. 2014)	SHADING g=0,77-0,29 Sombreado exterior	AISLAMIENTO TERMAL Aumento del aislamiento en cubierta y suelo	VENTILADORES			
(Hatvani-Kovacs et al. 2016)	SHADING 2º: Mejorar el sombreado de la casa	AISLAMIENTO TERMAL PRINCIPALMENTE EN CUBIERTA 4º: mejorar el aislamiento en paredes y techos (la cubierta se considera la más importante)			Medida más popular: sistema de refrigeración más eficiente 3º: instalar paneles solares	
(Brotas & Nicol 2016)	SOMBREAMIENTO EXTERIOR		VENTILACIÓN NOCTURNA CRUZADA			
(Barbosa et al. 2015)		AISLAMIENTO TERMAL Aislamiento en las fachadas (posición externa o interna, y e=30/60/80mm). Mejores resultados por el exterior	VENTILACIÓN NOCTURNA natural y optima (no tiene en cuenta factores como la privacidad o la seguridad)	INERCIA TERMICA Fachadas		
(Santamouris et al. 2010)			VENTILACIÓN NOCTURNA Contribución 10-40% de la carga inicial de enfriamiento Contribución media cercana al 26% Disminución de la carga de refrigeración hasta 40kWh/m2/y con una contribución media 12kWh/m2/y			
(Sakka et al. 2012)	INERCIA TÉRMICA + CONTROL SOLAR Disminuir la entrada de calor en las viviendas de los edificios	INERCIA TÉRMICA + CONTROL TÉRMICO Disminuir la entrada de calor en las viviendas de los edificios	VENTILACIÓN NOCTURNA Durante las olas de calor, las temperaturas exteriores son casi iguales o incluso más altas que las interiores, reduciendo el potencial de esta estrategia	ALTA INERCIA TÉRMICA Mayor resistencia frente a las olas de calor Especialmente en los primeros días		

Tabla 5B Medidas energéticas pasivas implementadas y valoración

(Pyrgou et al. 2017)		<p> AISLAMIENTO TERMAL Los edificios más aislados pueden tener más riesgo de sobrecalentamiento y aumento del cooling durante las olas de calor</p>	<p>Sistemas activos de ventilación producen una mayor reducción de la temperatura interior que aumentar el aislamiento térmico</p>		
(Mahdy & Nikolopoulou 2014)		<p>Tres envolventes distintas Ct. Media hasta de ladrillo rojo=2.51W/m2K C1. 7,5 cm de GRC= 0,37 W/m2K C2. 10 cm de GRC =0,28 W/m2K</p>			<p>Evidencia que el correcto y mayor aislamiento de las envolventes mantiene las temperaturas interiores dentro de los rangos de confort durante todo el año (Egipto no tiene invierno propiamente dicho) 72% current building stock in Sapin is unprotected Demanda de calefacción se reducirá entre 30% (Barcelona) y 36% (Valencia) Demanda de refrigeración aumentará entre 107% (Valencia) and 296% (Madrid)</p>
(Gangoellis & Casals 2012)	<p>SOMBREAMIENTO Sombreamiento permanente o móvil (vegetación, cortinas, persianas, toldos...) en fachada S y O</p>	<p> AISLAMIENTO TERMAL Mejorar valores U values en fachada, cubierta y ventanas</p>	<p> VENTILATION Ventilación nocturna (actualizar ventanas para mejorar los movimientos del aire), y método mixto (window and efficient mech)</p>		
(Saman et al. 2013)	<p>SOMBREAMIENTO CUBIERTA Orientación, sombreamiento, etc</p>	<p> ROOFS Láminas reflectantes y aumento del aislamiento térmico= método más efectivo verano</p> <p>Mejora de las ventanas</p>	<p> VENTILADORES VENTILACIÓN NATURAL</p>	<p>Construcción acoplada a la tierra: Se examinan diversas relaciones con el plano de tierra natural.</p>	<p>Más eficiente: atender al máximo a la demanda de refrigeración y no al consumo total. Puntos de ajuste: Adapt Thermal model (ASHRAE55): disminución del 60%</p>
					<p>Atendiendo a las olas de calor, el heating podría aumentar, pero el total de energía anual se reducirá El total de energía para escenarios futuros depende de la localidad, aunque hay un aumento del cooling en general.</p>

Tabla 5B Medidas energéticas pasivas implementadas y valoración

De las anteriores tablas pueden extraerse varias conclusiones generales.

En primer lugar, es importante tener en cuenta la metodología empleada en los distintos estudios que consiste en simulaciones, a través de edificios modelo estableciendo una comparativa entre distintos escenarios posibles o entre distintas medidas aplicadas atendiendo al aumento-disminución de la necesidad de calefacción y/o refrigeración para alcanzar el confort interior, o monitorizaciones generalmente durante olas de calor para extraer datos climáticos con lo que realizar las simulaciones o para analizar la respuesta de las distintas medidas implementadas de manera empírica. Las tipologías de viviendas son muy variadas y tratan a todo tipo de población, excepto 4 casos marcados en las tablas que se referencian exclusivamente a población vulnerable, ya que la adaptación ante futuros escenarios afecta al conjunto de la sociedad.

Los escenarios planteados se resumen en dos grupos: las predicciones a futuro atendiendo al cambio climático (en un rango desde la actualidad hasta el 2100) y las olas de calor (con datos basados en los veranos de 2003, 2007, 2009 y 2013 según el país del estudio).

En segundo lugar, las distintas medidas estudiadas dan lugar a conclusiones en común a tener en cuenta a la hora de aplicarlas:

A Control de radiación solar

Las fachadas donde más efectivas son estas medidas son la fachada sur y la oeste. Las protecciones óptimas con aquellas que se colocan por la cara exterior del vidrio y orientables.

B Control de transferencia de calor

Se concluye que el aislamiento es más efectivo por el exterior de las envolventes. Con el aislamiento se consiguen fachadas y cubiertas con menores transmitancias pero no es una estrategia con el mismo nivel de eficacia durante todo el año: el aumento de la cantidad de aislamiento es eficaz en invierno más que en verano ya que la diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior es mayor. En verano, para aumentar su efectividad, debe combinarse con materiales de alta reflexión en cubiertas y fachadas. Además, los edificios con altos espesores de aislamiento sufren más riesgo de sobrecalentamiento durante periodos de olas de calor. Cuando el aislamiento se coloca por el exterior, es posible que haya inercia por el interior, especialmente en edificios rehabilitados construidos con ladrillo y por tanto, con masa térmica, muy eficaz en condiciones de verano.

Por otro lado, se debe tender a la colocación de vidrios dobles bajo emisivos, con carpinterías estancas al aire y con rotura de puente térmico.

C Medidas pasivas de evacuación del calor

Todos los estudios que lo tratan coinciden en que la ventilación cruzada nocturna es la más eficaz de las medidas para la evacuación del calor, excepto en escenarios de ola de calor o en ciudades afectadas por el efecto de isla de calor (UHI), donde su eficacia es cuestionada debido a que por la noche las temperaturas pueden no bajar suficientemente. También hay que tener en cuenta situaciones de mucho ruido exterior, contaminación, etc.

Para que esta se pueda dar correctamente es fundamental tenerlo en cuenta desde el diseño del proyecto para dotar a las

viviendas de doble orientación y con los huecos correctamente dispuestos en las fachadas.

También hay que concienciar al usuario de cerrar todas las ventanas durante el día cuando las temperaturas exteriores sean altas, a no ser que haya un foco frío desde el que poder ventilar (patio, masa térmica, etc)

El uso del ventilador de techo también se considera una medida pasiva eficaz, por su escaso consumo energético, y aunque la temperatura del aire no disminuye, la percepción del usuario se reduce 2-3°C.

D Control de la masa térmica como moduladora de energía

La masa térmica es una solución buena en edificios residenciales de uso habitual, en régimen tanto de verano como de invierno. Además, en los periodos de ola de calor las viviendas con alta masa térmica tienen menos riesgo a sobrecalentarse sobre todo los primeros días.

Además de las medidas expuestas en la tabla anterior basadas en distintos artículos recientes, también se han analizado varias "reviews" que introducen estrategias pasivas más complejas aunque conocidas, ya que necesitan una construcción "en paralelo" al edificio y deben ir apoyados por pequeños sistemas mecanizados. Se exponen a continuación dos de estas medidas (Santamouris & Kolokotsa 2013):

- EATHE (Earth to Air Heat Exchangers): Se basa en que la temperatura del terreno es menor que la del aire.

Un sistema de circulación de aire hace que éste circule por los conductos, enterrados en el terreno, antes de ser introducido en el edificio. Así, se logra que la temperatura del aire que va a ser introducido en el edificio descienda gracias a que estos conductos están a menor temperatura por encontrarse bajo tierra. Este aire "más fresco" consigue mantener unas temperaturas en los espacios interiores más confortables. Los resultados de este sistema varían según el diámetro y material de los conductos, el caudal de aire, la profundidad de enterramiento del sistema y las características térmicas del suelo.

La simulación de dos edificios de idénticas características (uno de ellos dotado de este sistema) dio el resultado de que el edificio conectado al EATHE tenía una temperatura interior 3 ° C menor temperatura que el mismo edificio no asociado a un intercambiador.

La monitorización de una vivienda en Portugal durante el periodo estival con un sistema EATHE con tuberías de 25 m de largo, mostró que el aire que circulaba dentro de los tubos redujo su temperatura en 8°C.

- Evaporative cooling: El movimiento del aire sobre una superficie humedecida hace que parte del agua se evapore. Esta evaporación da como resultado una reducción de la temperatura y un mayor contenido de vapor en el aire. El aumento de la superficie aumenta la evaporación, dando como resultado un enfriamiento significativo.

La realización de pruebas en 500 000 edificios residenciales de la zona mediterránea de Europa con este sistema, dio como resultado un ahorro de energía cerca de 1084 GWh/año y su empleo, en

sustitución a otras medidas como por ejemplo los aires acondicionados evitó la emisión de 637 873 toneladas de CO₂.

Prácticamente la totalidad de las medidas detalladas y justificadas mediante ejemplos anteriormente, pueden ser implementadas en los edificios tanto en fase de proyecto como a modo de rehabilitación posterior. Sin embargo, uno de los objetivos que se tiene al estudiar y analizar estas medidas es conocerlas y tenerlas presentes desde la fase proyectual ya que su implementación a modo de rehabilitación una vez que el edificio ya está finalizado, supone un mayor costo económico y su ejecución contará con muchas más restricciones como colocación de elementos auxiliares, mayores dificultades de acceso a las zonas a tratar, interferencias con la normativa urbanística (alineaciones máximas, alturas...), perjuicios a los propietarios de las viviendas, posibles daños en otros elementos.... Además, hay estrategias en el diseño, como la doble orientación, la presencia de "habitaciones frías" en las viviendas, la correcta distribución de las estancias según las orientaciones..., que solo son posibles si se hacen desde el proyecto y son también las que permiten que puedan darse ciertas rutinas de adaptación de las personas dentro de los edificios explicadas anteriormente.

Todas las estrategias descritas hasta el momento buscan mejorar las condiciones de confort interior en las viviendas mediante estrategias concretas aplicadas a los edificios o mediante la adaptación de las conductas de las personas que residen en los mismos.

Por otro lado hay soluciones, complementarias a las anteriores, para alcanzar estas temperaturas de confort pero desde el punto de vista del ambiente exterior y la ciudad. Están basadas en estudios que establecen que el primer paso a realizar a la hora de enfrentarnos al cambio climático y a las olas de calor es reducir las temperaturas exteriores del contexto en el que se encuentran los edificios, especialmente en los núcleos urbanos consolidados, afectados por el conocido fenómeno UHI. Los estudios ([Van Hooff et al. 2015](#)) y ([Zuo et al. 2015](#)) proponen medidas al respecto como:

- Plantar vegetación y aumentar las áreas de parques y jardines: la vegetación ayuda a reducir la temperatura ambiente, las emisiones de CO₂ y a aumentar la humedad del ambiente. Sin embargo, la escasa disposición de suelo libre en los núcleos urbanos hace que no se destinen suficientes áreas para estos fines ya que un suelo destinado a albergar zonas verdes da mucho menos beneficio económico que aquel que va a albergar bloques de viviendas.

- Aumentar el Efecto Albedo en las infraestructuras urbanas (relación que existe entre el porcentaje de radiación que refleja una superficie con respecto a la radiación que incide sobre ella). De esta manera las superficies claras y brillantes de las envolventes de los edificios y espacios urbanos tienen mayor albedo que las oscuras y mates.

La simulación de tres tipologías de vivienda emplazadas en Holanda ([Van Hooff et al. 2015](#)) mostró que el empleo de dicho efecto en la cubierta redujo la temperatura del aire interior 1,5-2 °C durante el verano y su empleo en la fachada sur produjo una reducción del 18% de degree hours durante el periodo de ola de calor.

- Cubiertas vegetales: consigue que el flujo de calor se reduzca debido a que cambian la reflectividad de la onda incidente, se aumenta de la capa de aislamiento y la masa térmica, aumento de la transferencia de calor por convección y favorece la evapotranspiración. Además, es una de las medidas que más contribuye a la reducción del fenómeno UHI en sí misma dando lugar a espacios verdes sin necesidad de consumo de suelo y todos los problemas tratados anteriormente que esto lleva asociado.

Para finalizar este apartado, cabe destacar que la mayor parte de las medidas expuestas pueden tener poca repercusión si se implementan en solitario, dependiendo también de la zona climática, para conseguir reducir la necesidad de energía de refrigeración. Es en su combinación, junto con una correcta gestión de las mismas por parte de los usuarios de los edificios, cuando se alcanza la mayor eficacia y los resultados buscados.

6. CONCLUSIONES

El cambio climático es una realidad que se va acrecentando a futuro afectando a todo el conjunto de la población mundial. Por ello urge buscar respuestas y soluciones desde este momento anticipándonos a futuros escenarios previstos, tanto en el diseño y construcción de nuevo edificios como en la rehabilitación de edificios existentes.

El consumo de energía y recursos es un problema de nuestro tiempo donde la arquitectura tiene un gran poder de actuación y una importante responsabilidad, debido a su envergadura en el consumo de ambas. Debe renovarse en cuanto a sus modos de construir y en el diseño de los edificios, como tantos otros sectores de la industria están haciendo, pensando en el conjunto de la vida útil de los edificios.

La investigación se ha centrado en la región mediterránea del sur de Europa ya que, debido a la tipología de climas que presenta, se debe atender tanto a la necesidad de refrigeración (en régimen de verano) como a la de calefacción (en régimen de invierno) lo que supone un gran reto a nivel de diseño energético. Además, las previsiones de cambio climático la sitúan como una de las zonas de Europa que peores consecuencias sufrirá especialmente desde el punto de vista térmico, por lo que convierte en una región idónea de estudio y donde implementar soluciones ante estos problemas. Por otro lado, se han encontrado pocos estudios centrados en esta región europea.

Por otro parte, la población actual de esta zona está cambiando y se nos presenta una proyección futura de una sociedad más envejecida y solitaria en sus viviendas, debido al cambio en las estructuras familiares entre otras razones, con niveles medios-bajos de pobreza energética.

Estas predicciones futuras del tipo de sociedad y cambios en el clima deben tenerse muy en cuenta ya que son las condiciones de contexto en las que los edificios que se están construyendo en la actualidad deberán ser efectivos y responder de manera idónea.

La vivienda es una de las mayores inversiones que una persona realiza a lo largo de su vida. Además es el espacio cerrado donde más tiempo se encuentra un individuo y por tanto su ambiente interior influye de manera fundamental en los estados físicos de las personas en general y de manera particularmente decisiva en la población envejecida, socioeconómicamente vulnerable, o con problemas de salud. El problema surge cuando la arquitectura no responde a la búsqueda de este confort interior y las personas viven en viviendas con sobrecalentamientos (especialmente en momentos de ola de calor) o frío, comprometiendo su salud. Cuando la arquitectura no responde, los usuarios buscan soluciones rápidas e ineficientes energéticamente, que además de dañar el diseño arquitectónico, son contraproducentes ya que contribuyen al cambio climático y suponen un mayor gasto económico para los usuarios. Además, son de nuevo las personas en situaciones de vulnerabilidad aquellas que no tienen recursos para buscar ni siquiera este tipo de soluciones.

Por ello, son fundamentales las estrategias energéticas pasivas en el diseño o rehabilitación de un edificio ya constituyen el primer paso a considerar en la eficiencia energética de los edificios.

Así pues se han descrito como puntos fundamentales a solucionar mediante estrategias energéticamente pasivas aquellas que responden al control de la radiación solar, control de la transferencia de calor, evacuación del calor y control de la masa térmica como moduladora de energía. A estas, habrá que añadir la mejora de la eficiencia energética de los sistemas y la utilización de energías renovables, con el objetivo final de alcanzar edificios resilientes, que son aquellos que tienen la capacidad para hacer frente a los cambios futuros, respondiendo o reorganizándose de manera que mantengan su función, identidad y estructura esenciales, manteniendo al mismo tiempo la capacidad de adaptación y transformación.

Por todo ello, desde la arquitectura se tiene una responsabilidad con la sociedad para facilitar la vida a las personas dándoles espacios bellos y estéticamente agradables pero también, y al mismo nivel de importancia, espacios confortables donde poder desarrollar su vida alejados de problemas derivados de espacios de disconfort. La arquitectura debe anticiparse a los posibles problemas que se generarán en futuros escenarios climáticos para conseguir construir edificios resilientes al cambio climático, que puedan ser disfrutados durante toda su vida útil que es el objetivo final de todo edificio, ser disfrutado por quienes lo usan.

7. AGRADECIMIENTOS

Éste estudio es el resultado del trabajo desarrollado gracias a la Beca de Iniciación a la Investigación de la Escuela Técnica superior de Arquitectura de la Universidad de Navarra. Ha sido apoyado por el Departamento de Construcción, Instalaciones y Estructuras de dicha escuela, queriendo agradecer especialmente su ayuda y colaboración a las profesoras Ana Sanchez-Ostiz Gutierrez y Aurora Monge Barrio.

8. REFERENCIAS

- ACA, 3er Estudio Pobreza Energética en España - Nuevos Enfoques de Análisis. Available at: <http://www.cienciasambientales.org.es/noticias/567-3er-estudio-pobreza-energetica-en-espana-nuevos-enfoques-de-analisis.html> [Accessed March 16, 2017].
- Analitis, A. et al., 2008. Effects of cold weather on mortality: Results from 15 European cities within the PHEWE project. *American Journal of Epidemiology*, 168(12), pp.1397–1408.
- Anon, 2006. Energy Performance of Buildings Directive. , 1(January), pp.1–5.
- ASHRAE55-2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- Baccini, M. et al., 2008. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 19(5), pp.711–719.
- Barbosa, R., Vicente, R. & Santos, R., 2015. Climate change and thermal comfort in Southern Europe housing: A case study from Lisbon. *Building and Environment*, 92, pp.440–451. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.019>.
- Barriopedro, D. et al., 2011. The hot summer of 2010: redrawing the temperature record map of Europe. *Science*, 332(6026), pp.220–224. Available at: <http://www.sciencemag.org/content/332/6026/220.abstract%5C> <http://www.sciencemag.org/content/332/6026/220.full.pdf>.
- Bouzarovski, S., 2013. Energy poverty in the European Union : landscapes of vulnerability. , pp.276–289.
- Bouzarovski, S. & Petrova, S., 2015. A global perspective on domestic energy deprivation: Overcoming the energy poverty-fuel poverty binary. *Energy Research and Social Science*, 10, pp.31–40. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2015.06.007>.
- Brotas, L., Brotas, L. & Nicol, F., 2016. Using Passive Strategies to prevent overheating and promote resilient buildings. , (August).
- Brotas, L. & Nicol, J.F., 2016. The problem of overheating in European dwellings. *Windsor 2016*, (April), pp.7–10.
- Cadot, E., Rodwin, V.G. & Spira, A., 2007. In the heat of the summer: Lessons from the heat waves in Paris. *Journal of Urban Health*, 84(4), pp.466–468.
- Climate action 2020, 2020 climate & energy package | Climate Action. Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en [Accessed March 16, 2017].
- Climate action 2030, 2030 climate & energy framework | Climate Action. Available at: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en [Accessed March 16, 2017].
- Critchley, R. et al., 2007. Living in cold homes after heating improvements: Evidence from Warm-Front, England's Home Energy Efficiency Scheme. *Applied Energy*, 84(2), pp.147–158.
- CSIC, 2010. Cuadernos de la Fundación General CSIC "El envejecimiento de la población." *Lychnos - Cuadernos de la Fundación General CSIC*, (2), p.90. Available at: http://www.fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/envejecimiento_poblacion.
- Dear, K.B.G. & McMichael, A.J., 2011. The health impacts of cold homes and fuel poverty. *BMJ (Clinical research ed.)*, 342, p.d2807.
- EEA, Agencia Europea de Medio Ambiente. Available at: <http://www.eea.europa.eu/es> [Accessed April 7, 2017].
- ENTRANZE, ENTRANZE: Enforce the transition to Nearly Zero Energy buildings in the EU-27. Available at: <http://www.entranze.enerdata.eu/> [Accessed April 7, 2017].
- EPDB, 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Union*, pp.13–35.
- EUROSTAT, Eurostat. Available at: <http://ec.europa.eu/eurostat> [Accessed April 7, 2017].
- Fowler, T. et al., 2015. Excess winter deaths in Europe: A multi-country descriptive analysis. *European Journal of Public Health*, 25(2), pp.339–345.
- Gangoellis, M. & Casals, M., 2012. Resilience to increasing temperatures: residential building stock adaptation through codes and standards. *Building Research & Information*, 40(June), pp.1–20. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2012.698069>.
- Giorgi, F., 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8), pp.1–4.
- Guy, S., Lewis, A. & Karvonen, A., 2015. Conditioning Demand: Older people, thermal comfort and low-carbon housing. *Energy Policy*, 84, pp.191–194. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421515001688>.
- Gynther, L., Lappillone, B. & Pollier, K., 2015. Energy efficiency trends and policies in the household and tertiary sectors. An analysis based on the ODYSSEE and MURE databases. , (June), p.97. Available at: <http://www.odyssee-mure.eu/publications/br/energy-efficiency-trends-policies-buildings.pdf>.
- Hatvani-Kovacs, G. et al., 2016. Heat stress risk and resilience in the urban environment. *Sustainable Cities and Society*, 26, pp.278–288. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.06.019>.
- HE, D., 2013. Documento Básico HE Ahorro de energía. *Septiembre*. Available at: <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf> [Accessed March 16, 2017].
- Healy, J.D., 2003. Excess winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 57(10), pp.784–789. Available at: <http://jech.bmj.com/cgi/doi/10.1136/jech.57.10.784>.
- Henshaw, V. & Guy, S., 2014. Embodied thermal environments: an examination of older-people's sensory experiences in a variety of residential types. *Energy Policy*, 84, pp.233–240. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514006260>.
- Heschong, L., 1978. Thermal Delight in Architecture. , pp.1–85.
- Hills, J., 2011. Fuel poverty: the problem and its measurement.

- Available at:
http://www.decc.gov.uk/en/content/cms/funding/fuel_poverty/hills_review/hills_review.aspx.
- van Hoof, J. et al., 2010. Thermal comfort and the integrated design of homes for older people with dementia. *Building and Environment*, 45(2), pp.358–370. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.013>.
- van Hoof, J., Kort, H.S.M. & van Waarde, H., 2009. Housing and care for older adults with dementia: A European perspective. *Journal of Housing and the Built Environment*, 24(3), pp.369–390.
- Van Hooff, T. et al., 2015. Reprint of: On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment*, 83, pp.142–158. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.006>.
- IPCC, 2014a. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report*, pp.1–32.
- IPCC, 2014b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report. Summary for Policymakers. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report*, pp.1–32.
- Jentsch, M.F. et al., 2013. Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*, 55, pp.514–524. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.049>.
- Karimpour, M. et al., 2015. Impact of climate change on the design of energy efficient residential building envelopes. *Energy and Buildings*, 87, pp.142–154. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.064>.
- Knaggs, J.D., Larkin, K.A. & Manini, T.M., 2011. Metabolic cost of daily activities and effect of mobility impairment in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(11), pp.2118–2123.
- Liddell, C. & Morris, C., 2010. Fuel poverty and human health: A review of recent evidence. *Energy Policy*, 38(6), pp.2987–2997.
- Loughnan, M.E., Carroll, M. & Tapper, N., 2014. Learning from our older people: Pilot study findings on responding to heat. *Australasian Journal on Ageing*, 33(4), pp.271–277.
- Mahdy, M.M. & Nikolopoulou, M., 2014. Evaluation of fenestration specifications in Egypt in terms of energy consumption and long term cost-effectiveness. *Energy and Buildings*, 69, pp.329–343. Available at:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813007251> [Accessed April 27, 2016].
- Matthies, F. et al., 2008. Heat–health action plans. WHO Europe. , p.45. Available at:
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/95919/E91347.pdf.
- Nicol, F. & Humphreys, M., 2010. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN15251. *Building and Environment*, 45(1), pp.11–17. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.12.013>.
- ODYSEE-MURE, Energy Efficiency Policies | ODYSSEE-MURE. Available at: <http://www.odyssee-mure.eu/> [Accessed April 7, 2017].
- Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A., 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and earth system sciences*, 15(3), pp.259–263.
- Porritt, S. et al., 2011. Adapting dwellings for heat waves. *Sustainable Cities and Society*, 1(2), pp.81–90. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2011.02.004>.
- Pyrgou, A. et al., 2017. On the effect of summer heatwaves and urban overheating on building thermal-energy performance in central Italy. *Sustainable Cities and Society*, 28, pp.187–200. Available at:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670716302013>.
- R. S. Kovats et al., 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Europe. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, pp.1267–1326.
- Ren, Z., Wang, X. & Chen, D., 2014. Heat stress within energy efficient dwellings in Australia. *Architectural Science Review*, 57(3), pp.227–236. Available at:
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00038628.2014.903568?src=recsys#.VVBWW5UcQ2g>.
- Robine, J.M., Michel, J.P. & Herrmann, F.R., 2012. Excess male mortality and age-specific mortality trajectories under different mortality conditions: A lesson from the heat wave of summer 2003. *Mechanisms of Ageing and Development*, 133(6), pp.378–386. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.mad.2012.04.004>.
- Sakka, A. et al., 2012. On the thermal performance of low income housing during heat waves. *Energy and Buildings*, 49, pp.69–77.
- Saman, W. et al., 2013. *A framework for adaptation of Australian households to heat waves*, Available at:
http://www.nccarf.edu.au/sites/default/files/attached_files_publications/Saman_2013_Adapting_households_to_heat_waves.pdf.
- Santamouris, M., 2016. Cooling the buildings ??? past, present and future. *Energy and Buildings*, 128, pp.617–638. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.07.034>.
- Santamouris, M. & Kolokotsa, D., 2013. Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art. *Energy and Buildings*, 57, pp.74–94. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.11.002>.
- Santamouris, M., Sfakianaki, A. & Pavlou, K., 2010. On the efficiency of night ventilation techniques applied to residential buildings. *Energy and Buildings*, 42(8), pp.1309–1313. Available at:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.024>.
- UNE-EN 15251, 2008. Parámetros del ambiente interior a considerar

para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido.

- Wang, X., Chen, D. & Ren, Z., 2010. Assessment of climate change impact on residential building heating and cooling energy requirement in Australia. *Building and Environment*, 45(7), pp.1663–1682. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.022>.
- World Health Organization, 1987. Health impact of low indoor temperatures. Report on a WHO meeting. , p.27.
- Wright, F., 2004. Old and cold: Older people and policies failing to address fuel poverty. *Social Policy and Administration*, 38(5), pp.488–503.
- Zuo, J. et al., 2015. Impacts of heat waves and corresponding measures: A review. *Journal of Cleaner Production*, 92, pp.1–12. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.078>.