

La influencia del cambio climático en viviendas existentes a través del enfoque de confort adaptativo

Sánchez-García, Daniel ^(1,*), Rubio-Bellido, Carlos ⁽¹⁾; Guevara-García, Fco. Javier⁽¹⁾; Canivell, Jacinto⁽¹⁾

(*) Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II;
sangardaniel@gmail.com

(1) Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II

Abstract Teniendo en cuenta la adaptabilidad del usuario al entorno edificado, el análisis de confort de viviendas existentes con ventilación natural es crucial para reducir los consumos energéticos actual y futuro. En el caso de Europa, el parque de viviendas fue construido principalmente antes de que se publicaran normativas relacionadas con el consumo energético y sin considerar el calentamiento global. Esta investigación presenta un estudio del modelo de confort adaptativo EN 15251:2007, para proporcionar una orientación al confort en viviendas existentes en el contexto del cambio climático. El caso de estudio es un bloque residencial construido en 1978 en Sevilla, España. El análisis considera los patrones que existen actualmente, así como las características espaciales y constructivas. Los datos medidos in situ se ha utilizado para calibrar el modelo de simulación dinámica para los escenarios actual y futuros. El potencial de aplicación del modelo de confort adaptativo EN 15251:2007 se muestra en este estudio para el presente y los años 2020, 2050 y 2080. Los resultados muestran un decremento progresivo de horas aplicables y de horas confortables, a la vez que las horas calurosas aplicables y no aplicables aumentan y las horas frías aplicables y no aplicables disminuyen respectivamente. Este enfoque puede ser útil como un primer paso a considerar en la toma de decisiones de rehabilitaciones energéticas, así como políticas energéticas.

Keywords Confort adaptativo, Ventilación natural, Simulación dinámica, Cambio climático

1 Introducción

Actualmente, la disminución de recursos energéticos y el riesgo de calentamiento global requieren un desarrollo sostenible basado en energías renovables y eficiencia energética. Es comúnmente reconocido que el sector de la construcción representa aproximadamente un tercio el consumo total de energía en el mundo (Pérez-Lombard et al, 2008). La Agencia Internacional de la Energía indica que el consumo absoluto podría alcanzar 38,4 PWh en 2040 (IEA, 2013), siendo responsable del 38% de los gases de efecto invernadero (UNEP, 2012). Teniendo en cuenta este hecho, la eficiencia energética en los edificios es un factor crucial en la agenda europea técnica y política para edificios nuevos y existentes. Esto, junto a las predicciones de futuros escenarios climáticos y sobre cómo las ciudades y la arquitectura se adaptarán, aunque con diversas incertidumbres, se posiciona como uno de los principales puntos para investigación y desarrollo en el mundo científico. Desde la creación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) en 1988, el cual ha publicado recientemente su Quinto Informe de Evaluación (AR5) (IPCC, 2014), ha habido numerosos estudios que tratan sobre el calentamiento global, el incremento de las emisiones y la escasez de recursos. Varios estudios sobre escenarios climáticos futuros están basados en modelos de predicción, para los cuales se realiza un proceso de morphing, y son válidos para una gran parte del mundo, aunque ya hay algunos modelos que funcionan a nivel de país (Chan, 2011).

La adaptación climática de los edificios existentes y sus ocupantes tienen un papel importante, sobre todo en el sector residencial europeo, donde la mayoría de las viviendas son aún ventiladas de forma natural. En los países del sur de Europa, donde se predice un aumento de temperaturas, la implementación de sistemas activos de aire acondicionado ha sido sujeto de discusión (Barbosa et al, 2015), debido a la necesidad de más recursos para satisfacer la demanda energética, en un escenario donde el incremento en los precios de la energía y de la pobreza energética se está convirtiendo en una realidad (Thomson & Snell, 2013). Por lo tanto, gran parte de los estudios actuales en el campo de la adaptación climática en residencias están enfocados al estudio del confort de sus ocupantes, tratando de reducir el uso de medios activos e intensificando estrategias pasivas (Van Hooff et al, 2015).

En este sentido, en los últimos años, los modelos de confort han sido desarrollados para los ocupantes de edificios con ventilación natural. Los más extendidos son los modelos de confort adaptativo ASHRAE 55-2013 (ASHRAE, 2013) y EN 15251:2007 (CEN, 2007), con sus respectivas revisiones o estudios en climas específicos (Dear & G.S. Brager, 2002; Manu et al, 2016), los cuales se basan en estudios de campo en diversas localizaciones alrededor del mundo. El potencial de uso de dichos modelos para el confort estático (ISO, 2005) responde al hecho de que los ocupantes de edificios ventilados de forma natural podrían tener un rango de confort mayor (Feriadi & Wong, 2004) que aquellos que usan sistemas de

acondicionamiento centralizado. Además, en los estándares de confort adaptativo actuales, que proceden de los estudios llevados a cabo en el RP-884 y los proyectos SCATs, los espacios ventilados de forma natural tienen una fuerte relación con la temperatura externa. Diversos estudios han aplicado el confort adaptativo a la arquitectura vernácula, donde tradicionalmente ha habido una relación entre el medio ambiente (Singh et al, 2015) y la construcción con materiales disponibles en el área local (Desogus et al, 2015), incluso considerando edificios residenciales de energía cero (Attia & Carlucci, 2015).

Sin embargo, en el contexto actual de calentamiento global, el estudio del potencial de aplicación de modelos de confort adaptativo podría tener implicaciones en la reducción del consumo energético, teniendo en cuenta que se predice un incremento de este en los próximos años. En este sentido, las viviendas en el sur y este de Europa proporcionan un caso de estudio representativo, ya que los edificios con ventilación natural y la pobreza energética son predominantes. Hay que considerar que dichos estudios deben estar específicamente enfocados a cada tipología de edificio y clima. Por esto, se han llevado a cabo diversas investigaciones para simular casos de estudio específicos (Barbosa et al., 2015; Lomas & Giridharan, 2012).

En el caso de España, en 2020, el Plan Energético Nacional predice que habrá un 15,6% de reducción por el ahorro energético en el sector de la construcción (IDAE, 2011). La normativa se ha implementado para que se tenga en cuenta esto para los nuevos edificios. Sin embargo, los edificios existentes, sobre todo en el sector residencial, se caracterizan por ser un sector abundante, y generalmente, uno que no está bien mantenido, con la mayor parte del parque construido antes de que se estableciera normativa que regulara la energía y sin estar enfocados al cambio climático. La mayoría de las construcciones hechas antes de los años 80 se desarrollaron en ciudades, como bloques de viviendas. Por lo tanto, esta tipología de edificio ha sido estudiada en las principales ciudades de España desde un punto de vista energético, pero no se han hecho estudios específicos hacia la potencialidad y la adaptabilidad al cambio climático de niveles de confort adaptativo. En el caso de Sevilla, en el sur de España, donde se sitúa el caso de estudio de este proyecto, se han llevado a cabo estudios energéticos en el contexto actual (Domínguez et al, 2012; León et al, 2010).

Esta investigación pretende aclarar la aplicabilidad de los modelos de confort adaptativo mediante el estudio de apartamentos de un bloque de viviendas. Además, esta investigación pretende analizar posibles cambios de las condiciones interiores para proponer estrategias de diseño pasivas y mecánicas adecuadas para la adaptación al cambio climático. De esta forma, se analiza la capacidad de las viviendas de hacer frente al cambio climático, y el impacto que las viviendas tendrán sobre el confort de sus ocupantes.

2 Metodología

Con la finalidad de considerar todos los factores que afectan a los resultados del estudio, se ha implementado una metodología en etapas:

En la primera etapa, la recopilación de datos consistió en la agrupación de parámetros inherentes a la vivienda sujeto de estudio:

- Se recopilaron datos del sistema constructivo, incluyendo datos estadísticos de viviendas similares en Sevilla, definición de la distribución, mediciones de la vivienda y modelado en software CAD

- Se definieron las hipótesis de operación basadas en diferentes perfiles de ocupación observados en la vivienda (siempre ocupada, o desocupada de 8:00 a 15:00) y en cuándo se permite que las ventanas estén abiertas. Además, se tuvo en cuenta el tiempo real que las persianas están enrolladas y desenrolladas, así como el control de ventilación de la vivienda.

- Se recopilaron datos de las condiciones ambientales externas a través de los archivos climáticos actuales de EnergyPlus, y los valores normales de temperatura de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMet). Se obtuvieron los escenarios futuros mediante procesos de morphing para los años 2020, 2050 y 2080.

En la segunda etapa, se llevó a cabo el trabajo de campo y simulaciones, estando compuesta de tres secciones:

- La vivienda fue monitorizada durante periodos en invierno, primavera y verano. Se llevó a cabo un proceso de colocación de sensores, recopilación de datos y minería de datos. Se midieron las temperaturas interiores con sensores dispuestos en las habitaciones noroeste y sudeste.

- Se llevó a cabo un modelo de simulación numérica del edificio, considerando las características constructivas, perfiles de ocupación, operación de las ventanas, sombras proyectadas y protecciones solares reales.

- A partir de las temperaturas interiores medidas y simuladas, se llevó a cabo un proceso de calibración para asegurar la validez y precisión de los resultados de simulación.

La tercera etapa estuvo compuesta por la aplicación del modelo de confort adaptativo, que se establece en las siguientes secciones:

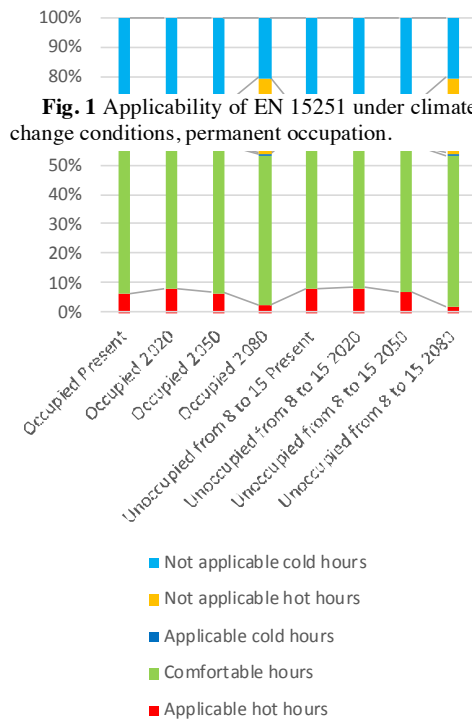
- Se determinó el potencial de aplicabilidad de los modelos de confort adaptativo teniendo en cuenta las condiciones exteriores y las limitaciones de los estándares para los escenarios presente y futuros. Para lograr esta cuestión, se usaron los resultados medios de la simulación de la vivienda con la finalidad de obtener las horas aplicables y no aplicables de los modelos de confort adaptativo, con diferentes hipótesis de operación por cada escenario climático.

- Se obtuvieron los niveles de confort adaptativo considerando las temperaturas operativas horarias resultantes de la simulación e identificando la zona de confort en una habitación representativa por medio de gráficos de dispersión y la evolución del confort a lo largo del año para el escenario actual y del año 2080.

3. Resultados y discusión

3.1 Potencial de aplicabilidad del modelo de confort adaptativo

Las predicciones de los escenarios futuros muestran un incremento en la temperatura media anual desde la actual 18,36°C a 22,74°C, estimada para 2080. La tendencia más adversa se puede observar en la temperatura durante los meses de verano, que es actualmente alta. Por ejemplo, en junio, la temperatura media de las máximas crecerá de la actual 36,42°C a 43,83°C en 2080. Estas tendencias representan la variabilidad en el potencial de aplicabilidad de los modelos de confort, que están aplicados a valores medios de la vivienda con la finalidad de establecer una visión general de los porcentajes de confort. Además, se comenta la desviación de las dos habitaciones calibradas.



El modelo de confort adaptativo presenta limitaciones en la aplicabilidad respecto a la temperatura media ponderada, siendo el rango de aplicabilidad de 10-15°C a 30°C. Por la claridad de los resultados, en adelante se llamará horas aplicables a aquellas horas entre dichos límites. Los resultados de aplicabilidad muestran una reducción progresiva de las horas aplicables producida conforme los escenarios climáticos avanzan. Es decir, con el incremento de temperaturas, las horas más calurosas exceden el límite de 30°C (en adelante, horas calurosas no aplicables). A la misma vez, las horas frías que estaban por debajo del límite de 10-15°C (en adelante, horas frías no aplicables) entran en el rango de aplicación cuando la temperatura es superior que la establecida en el límite, y pasa a ser hora aplicable. En conclusión, las horas frías no aplicables decrecen y las horas calurosas no aplicables crecen progresivamente, pero las horas aplicables decrecen porque siempre el incremento de horas calurosas no aplicables es mayor que decremento de horas frías no aplicables.

En el periodo de invierno, el decremento de horas frías no aplicables se estima desde un 34.79% en el escenario actual a un 20.27% en el escenario 2080. Se puede observar que, en el escenario actual, todas las horas que no se han aplicado en

el modelo de confort son horas frías no aplicables, por lo que el periodo de invierno prevalece sobre el periodo de verano en términos de aplicabilidad. De esta forma, el incremento de temperaturas hace que las horas más calurosas aplicables excedan el límite de 30°C y pasen a ser horas calurosas no aplicables. Sin embargo, el incremento de temperaturas no es suficiente para hacer que las horas frías no aplicables alcancen el límite de 10-15°C, y permanecen fuera del rango de aplicabilidad. Por lo tanto, la reducción de horas aplicables responde a las horas que excedieron el límite de 30°C.

En el caso de la hipótesis desocupada de 8:00 a 15:00, los porcentajes de horas aplicables, horas calurosas no aplicables y horas frías no aplicables son cercanos a los de la hipótesis de ocupación permanente, con una varianza del 0,20%. En el caso del escenario actual, es ligeramente menor. Sin embargo, en el resto son ligeramente superiores. Dicha escasez de varianza se debe a las cargas internas, las cuales se compensan hasta cierto punto por el hecho de que las ventanas permanecen cerradas durante el periodo desocupado de 7 horas, también considerando que las condiciones exteriores no son favorables en este clima. Por lo tanto, se ha elegido la hipótesis de ocupación permanente para los siguientes análisis.

La variación de la desviación de los valores de confort en las habitaciones sudeste y noroeste representa un valor medio del 2% de las horas confortables. Hay más horas confortables en la habitación noroeste que en la sudeste, ya que los cambios de temperatura en la noche son más suaves que en el día por no recibir radiación directa. Por lo tanto, aunque se percibe escasez de varianza, se elige la habitación sudeste para los siguientes capítulos considerando las condiciones más adversas.

3.2 Niveles de confort adaptativo

Para este análisis se consideran las horas confortables, así como las horas calurosas y frías aplicables. En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de horas por encima, dentro y por debajo de la zona de confort, con ocupación permanente en la habitación sudeste.

Tabla 1 Porcentajes de confort, southeast room, permanent occupation

Escenario	Horas por encima, dentro o por debajo de la zona de confort	EN15251
Actual	Por encima	6.53%
	Dentro	56.66%
	Por debajo	2.01%
2020	Por encima	8.06%
	Dentro	54.30%
	Por debajo	0.38%
2050	Por encima	6.64%
	Dentro	50.09%
	Por debajo	0.26%
2080	Por encima	2.59%
	Dentro	50.84%
	Por debajo	0.55%

Los resultados muestran un decremento progresivo de las horas confortables, similar al decremento en horas frías aplicables. Las horas calurosas aplicables experimentan un incremento hasta 2020, desde donde descienden ya que las temperaturas son tan altas que el modelo no se puede aplicar.

A priori, un incremento en la temperatura podría significar que el porcentaje de horas calurosas aplicables en el escenario 2080 sería el más alto de todos los escenarios. Sin embargo, es el más bajo. Esto se debe a que el incremento de horas fuera de la zona de confort debido al incremento de temperatura se acumula en las horas calurosas no aplicables. Esto se puede ver en la Fig. 3, en el escenario 2080, donde la zona de mayor temperatura del límite de confort superior es horizontal, lo cual significa que la temperatura media ponderada ha excedido el límite superior de aplicación. De esta forma, el incremento de temperatura conduce a un incremento de horas calurosas no aplicables, en lugar de horas calurosas aplicables, tal y como se puede observar en la Fig. 1.

Fig. 2 Gráfico de dispersión. Zona de confort de EN15251:2007. Habitación sudeste, ocupación permanente, escenario actual.

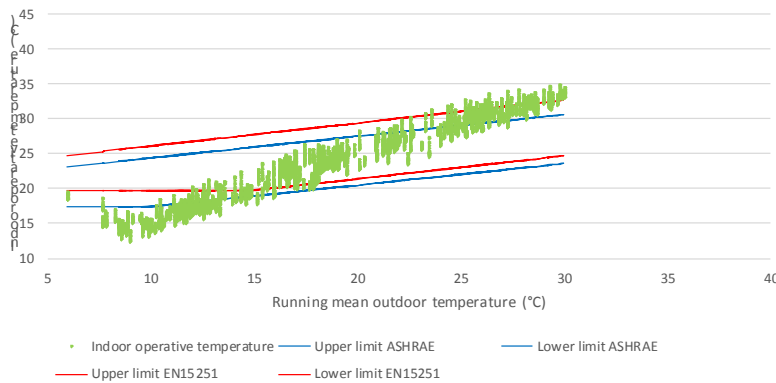
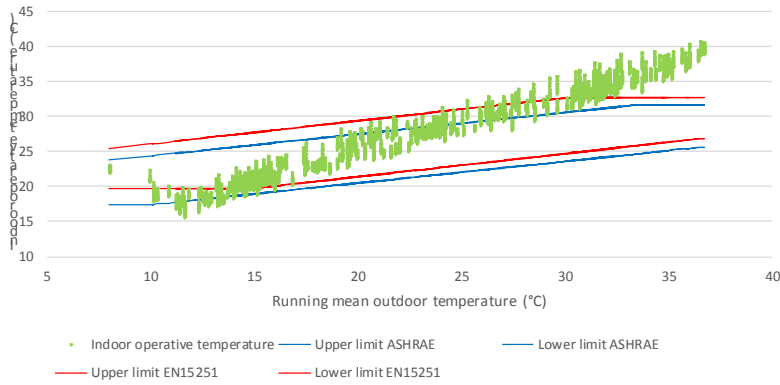
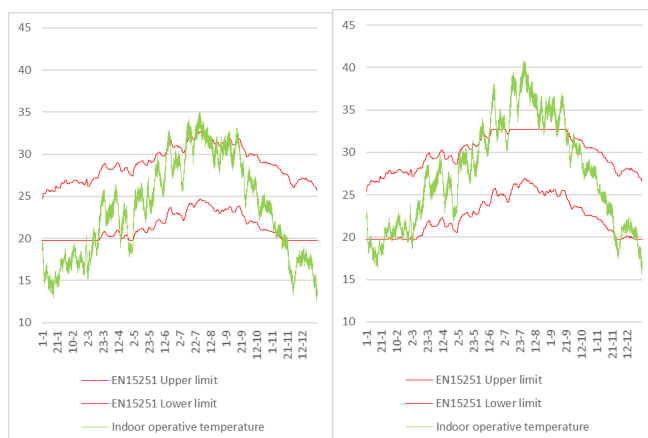


Fig. 3 Gráfico de dispersión. Zona de confort de EN15251:2007. Habitación sudeste, ocupación permanente, escenario 2080.



Considerando las diferencias en la evolución de los escenarios de cambio climático (Fig. 2-3), se puede observar que el patrón se desplaza hacia la derecha del eje x al incrementar la temperatura media ponderada, y se desplaza a lo largo del eje y con el incremento de la temperatura operativa interior, teniendo la causa en el incremento de la temperatura exterior. Dicho movimiento a lo largo del eje y puede ser cuantificado al observar el incremento de la temperatura operativa interior, con los siguientes valores mínimo y máximo: 12.52°C y 35.02°C para el escenario actual; 13.46°C y 36.24°C para el escenario 2020; 14.66°C y 38.54°C para 2050; y 15.66°C y 40.82°C para 2080. El desplazamiento a lo largo del eje x se cuantifica observando los valores mínimo y máximo que la temperatura media ponderada alcanza: 5.92°C y 29.98°C en el escenario actual; 6.24°C y 31.69°C en 2020; 7.20°C y 34.35°C en 2050; 7.98°C y 36.75°C en 2080.

Fig. 4 Evolución de la temperatura operativo interior vs temperatura media ponderada a lo largo del año según EN15251:2007. Habitación sudeste, ocupación permanente en los escenarios presente y 2080.



El análisis de la evolución a lo largo del año (Fig.4), para la temperatura interior operativa y la temperatura media ponderada aclara la diferencia entre el escenario actual y 2080, Aunque e hecho de que en los meses fríos (noviembre a febrero) la temperatura operativa interior es generalmente dentro de los límites de confort, durante los meses calurosos (junio-septiembre) se produce sobrecalentamiento. Los periodos de sobrecalentamiento se pueden observar en los meses de verano, cuando la temperatura operativa interior supera los límites de confort en el escenario actual. Sin embargo, 2080 es especialmente adverso, porque la temperatura media ponderada excede el límite superior de aplicabilidad, y por lo tanto el límite superior de confort se hace plano, a la misma vez que las temperaturas interiores permanecen creciendo. Debido a las extremadamente altas temperaturas, los periodos de sobrecalentamiento necesitan un estudio específico con la finalidad de disminuir el malestar por medio de estrategias de ventilación.

4. Conclusiones

Este estudio se ha dirigido a evaluar el potencial del modelo de confort adaptativo EN 15251:2007 en el clima actual, agravado por la situación de escasez energética, así como en los climas futuros, en los que se predice un incremento significativo de temperatura causado por el cambio climático. La vivienda estudiada, sujeto de estudios de campo para calibrar y verificar la validez de los datos de las simulaciones, es el tipo más común de vivienda en el parque existente en España, construido sin tener en cuenta el cambio climático, y que incrementa drásticamente su obsolescencia con el paso del tiempo.

Los resultados muestran que las temperaturas han crecido tanto que ha excedido en gran proporción los límites superiores de confort y de aplicabilidad. Estos resultados se pueden explicar al demostrar que la ventilación natural no es suficiente para alcanzar el confort térmico. Por lo tanto, la actual aplicabilidad, así como la potencialidad del modelo de confort adaptativo EN 15251:2007, son limitadas. Para lograr el confort, sería necesario recurrir a otras estrategias pasivas de diseño o a medios mecánicos o modo mixto.

Esta investigación puede significar una herramienta de valor para las primeras etapas de planes de rehabilitación en la ciudad de Sevilla y otras con climas similares en el sur de Europa.

5. Citas y referencias

ASHRAE. (2013). ANSI/ASHRAE Standard 55-2013. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (Vol. ASHRAE Sta). <http://doi.org/ISSN 1041-2336>

Attia, S., & Carlucci, S. (2015). Impact of Different Thermal Comfort Models on Zero Energy Residential Buildings in Hot Climate. *Energy and Buildings*, 102, 117–128. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.05.017>

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, 440–451. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.019>

CEN. (2007). EN 15251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings- addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. European Committee for Standardization, 3, 1–52. <http://doi.org/10.1520/E2019-03R13>. Copyright

Chan, A. L. S. (2011). Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong. *Energy and Buildings*, 43(10), 2860–2868. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.07.003>

Dear, R. J. De, & G.S. Brager. (2002). Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revision to ASHRAE standards 55,. *Journal of Energy and Buildings*, 34, 549–561.

Desogus, G., Di Benedetto, S., & Ricciu, R. (2015). The use of adaptive thermal comfort models to evaluate the summer performance of a Mediterranean earth building. *Energy and Buildings*, 104, 350–359. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.020>

Domínguez, S., Sendra, J. J., León, A. L., & Esquivias, P. M. (2012). Towards energy demand reduction in social housing buildings: Envelope system optimization strategies. *Energies*, 5(7), 2263–2287. <http://doi.org/10.3390/en5072263>

EU. (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*, 13–35. http://doi.org/10.3000/17252555.L_2010.153.eng

Feriadi, H., & Wong, N. H. (2004). Thermal comfort for naturally ventilated houses in Indonesia. In *Energy and Buildings* (Vol. 36, pp. 614–626). <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2004.01.011>

Gangoellés, M., & Casals, M. (2012). Resilience to increasing temperatures: residential building stock adaptation through codes and standards. *Building Research & Information*, 40(June), 1–20. <http://doi.org/10.1080/09613218.2012.698069>

Guan, L. (2009). Preparation of future weather data to study the impact of climate change on buildings. *Building and Environment*, 44(4), 793–800. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.05.021>

Idae. (2011). Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-20 (Spanish National Renewable Energy Plan (NREP) 2011-2020). IDAE, 268. Retrieved from http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf

IEA. (2013). *World Energy Outlook 2013*.

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Ipcc.

ISO. (2005). ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. *Management*, 3, 605–615. <http://doi.org/10.1016/j.soildyn.2004.11.005>

Jentsch, M. F., Bahaj, A. S., & James, P. A. B. (2008). Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files. *Energy and Buildings*, 40(12), 2148–2168. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.005>

Jentsch, M. F., James, P. A. B., Bourikas, L., & Bahaj, A. S. (2013). Transforming existing weather data for worldwide locations to enable energy and building performance simulation under future climates. *Renewable Energy*, 55, 514–524. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.049>

León, a. L., Muñoz, S., León, J., & Bustamante, P. (2010). Monitorización de variables medioambientales y energéticas en la construcción de viviendas protegidas: Edificio Cros-Pirotecnia en Sevilla. *Informes de La Construcción*, 62, 67–82. <http://doi.org/10.3989/ic.09.045>

Lomas, K. J., & Giridharan, R. (2012). Thermal comfort standards, measured internal temperatures and thermal resilience to climate change of free-running buildings: A case-study of hospital wards. *Building and Environment*, 55, 57–72. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.12.006>

Manu, S., Shukla, Y., Rawal, R., Thomas, L. E., & de Dear, R. (2016). Field studies of thermal comfort across multiple climate zones for the subcontinent: India Model for Adaptive Comfort (IMAC). *Building and Environment*, 98, 55–70. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.12.019>

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394–398. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>

Roaf, S., Crichton, D., & Nicol, F. (2009). *Adapting Buildings and Cities for Climate Change - A 21st Century Survival Guide Second Edition*. Retrieved from http://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/Adapting_Buildings_and_Cities_for_Climate_Change.pdf

Rupp, R. F., Vásquez, N. G., & Lamberts, R. (2015). A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings*, 105, 178–205. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>

Schiermeier, Q. (2010). The real holes in climate science. *Nature*, 463(7279), 284–287. <http://doi.org/10.1038/463284a>

Singh, M. K., Mahapatra, S., & Atreya, S. K. (2010). Thermal performance study and evaluation of comfort temperatures in vernacular buildings of North-East India. *Building and Environment*, 45(2), 320–329. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.009>

Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S., & Van Den Dobbelen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 201–215. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050>

Thomson, H., & Snell, C. (2013). Quantifying the prevalence of fuel poverty across the European Union. *Energy Policy*, 52, 563–572. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.009>

UNEP. (2012). Building Design and Construction: Forging Resource Efficiency and Sustainable Development.

Van Hooff, T., Blocken, B., Hensen, J. L. M., & Timmermans, H. J. P. (2015). Reprint of: On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for residential buildings. *Building and Environment*, 83, 142–158. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.10.006>