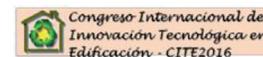
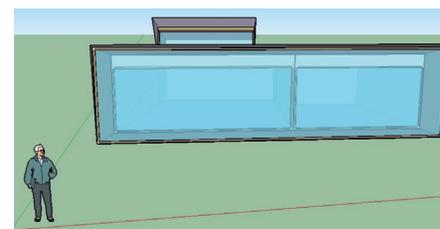


Análisis de la simulación y monitoreo real de un invernadero en la implicación térmica de un edificio. Un caso práctico



Simulation and monitoring campaign in a sunspace, analysis of its influence over the building thermal performance. A case study



Rubén Felices-Puértolas¹, Carmen Viñas-Arrebola¹, Juan-Carlos Losada-González²

¹ Universidad Politécnica de Madrid, ETS Edificación, Dpto. Tecnología de la edificación, Avda. Juan de Herrera, 6, 28040 Madrid, Tfno. +34 913 367603. ruben.felices@upm.es

² Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Dpto. Ingeniería Agroforestal, Avda. Puerta de Hierro, 2, 28040 Madrid, +34913365867

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8202> | Recibido: 04/11/2016 • Evaluado: 07/11/2016 • Aceptado: 01/02/2017

ABSTRACT

• The thermal performance of a sunspace attached to a bioclimatic building in Madrid has been studied. As a passive strategy, combines naturally the effect of the direct solar radiation and the absorption of the opaque constructive systems and the thermal properties of the air enclosed in the sunspace. During the winter, the sun warms the air enclosed allowing to use it as a natural collector of warm air to introduce it in the inner areas. During the summer, it's a buffer space who prevent the influence of the ambient conditions in the inner areas.

In the case studied, most of the recommended passive strategies formulated in other theoretical studies has been implemented. The experimental results show a thermal performance which prevent the overheating effect in summer, shown in other studies. In this case, the higher values of temperatures in the sunspace are reached during the winter, not in summer; it demonstrate the potential saving of energy consumption of the inner areas attached to the sunspace. The experimental data were compared with numerical results using EnergyPlus, showing a good accuracy among them and validating the simulation; predict the thermal performance makes easier the design phase.

• **Keywords:** Monitoring; Energy simulation; Bioclimatic architecture; Sunspace.

RESUMEN

El comportamiento térmico de un espacio invernadero en un edificio bioclimático en España ha sido estudiado. Esta estrategia pasiva combina el efecto de la radiación solar al ser absorbida por los elementos opacos y las propiedades térmicas del aire encerrado en el invernadero. Durante el invierno, el sol templará el aire encerrado y puede ser usado como una estrategia pasiva de calentar los recintos interiores. Durante el verano, su función lo convierte en un espacio tampón que previene de la influencia de las condiciones climáticas exteriores.

En el caso en estudio se han llevado a cabo la mayoría de propuestas de mejora del comportamiento energético expresadas en otros artículos teóricos para condiciones climáticas similares. Los resultados experimentales muestran un comportamiento que evita el sobrecalentamiento del espacio, alcanzando mayores temperaturas interiores en invierno que en verano, lo cual ayuda a disminuir la demanda energética de los espacios interiores anexos.

Los datos experimentales fueron comparados con los resultados simulados usando EnergyPlus, mostrando que el programa concuerda con los datos experimentales y validando la simulación; predecir el comportamiento experimental con una buena precisión facilita la labor de diseño.

Palabras clave: Monitorización; Simulación; Arquitectura bioclimática; Invernadero.

1. INTRODUCCIÓN

El cumplimiento de la Directiva Europea 2010/31[1] pasa por la integración de sistemas constructivos que ayuden a conseguir un mejor confort térmico; de hecho, es la Medida 1 en el 2º Plan de acción nacional de eficiencia energética en España 2011-2020 [2], en cuanto a la rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios. En un trabajo [3] presentando como parte del proyecto ARFRISOL [4] por el que se simulan y construyen edificios en uso en los que se han ejecutado multitud de estrategias pasivas y activas, el ahorro favorecido por el diseño se cifra en el 50%, similar a la influencia de la integración de energías renovables en los mismos.

Multitud de estudios se han realizado evaluando las diferentes estrategias que se pueden usar en la región mediterránea para mejorar la eficiencia energética de los edificios [5]–[11]. De entre ellas, en este estudio nos centramos en los espacios invernaderos, que en el ámbito de la edificación se imponen dada la facilidad de su integración en el diseño arquitectónico; además, la rehabilitación de la envolvente con esta solución tiene la mejor relación coste-ahorro según Bakos [12] para el área mediterránea.

Estudios llevados a cabo mediante simulaciones muestran este problema en el sur de Europa, Mihalakakou [13] compara el comportamiento de estos recintos resaltando la problemática del sobrecalentamiento en Atenas y proponiendo su uso en combinación con la ventilación natural, ventilación nocturna y sistemas geotérmicos. Bataineh et al. [14] simulan el comportamiento de estos espacios bajo el clima de Jordania y obtienen similares conclusiones tras haber investigado la relación entre el espacio acristalado y el cerramiento opaco envolvente; como conclusión, proponen el uso de cristales inclinados para minorar la ganancia solar en verano de forma natural. Oliveti et al. [15] estudia en un espacio invernadero determinado, la importancia del área acristalada respecto del área opaca; para la orientación sur, con cristales simples el coeficiente de absorción es el mismo independientemente de

si sólo está acristalada la cara sur o también en sus laterales. En cambio, con cristales dobles se incrementa el coeficiente de absorción, de media, un 10%. En otro estudio suyo [16] se detalla que el coeficiente de absorción térmico varía entre un 0,4 y un 0,6 según la configuración de la cara interior de ese espacio sea acristalada o cerrada por masa opaca.

Respecto a estudios experimentales y comparativos en el ámbito de edificación, Mottard y Fissore [17] construyen en su estudio un espacio invernadero del que toman medidas experimentales y simulan en estado transitorio; su conclusión es que los errores entre los resultados simulados y los datos tomados alcanzan los 2,4°C puntualmente y cifran en un 11% el error total en cuanto a la energía transmitida al recinto adyacente. Debido a la magnitud del error que se puede encontrar en la comparación, Asdrubali et al. [18] centran su estudio en la comparación de los diferentes programas de simulación respecto de los datos reales, usando para ello programas de simulación en estado estacionario: Method 5000 [19] y UNE EN-ISO 13790 [20]; y en estado dinámicos: TRN-SYS [21] y EnergyPlus [22]. De este estudio se concluye que los procesos de simulación con modelos transitorios consiguen resultados con menor error respecto de los datos reales; siendo el motor de cálculo transitorio EnergyPlus el más preciso. Este programa ha sido utilizado bastamente en todo el mundo para el análisis del comportamiento térmico en el campo de la edificación [23]–[29] con resultados válidos, siendo, por tanto, el que se usará en este estudio.

Tomando como base los trabajos anteriores, en este trabajo se analiza la variable de temperatura alcanzada en los recintos estudiados durante diferentes épocas del año, se muestra la in-

fluencia en los resultados experimentales obtenidos sobre un espacio invernadero en el que se aúnan las propuestas de mejora expresadas de forma teórica en el conocimiento previo del sistema constructivo.

La comparación con los resultados obtenidos con EnergyPlus, permite observar errores derivados de la adaptación del motor de cálculo EnergyPlus a la metodología de cálculo de la demanda energética de los edificios establecida por la Unión Europea, lo que puede llevar a que en cada país los resultados sean diferentes para cada investigador. La comparación de los resultados simulados con los datos experimentales demuestran que el motor de cálculo transitorio EnergyPlus permite un correcto análisis simulado del comportamiento térmico real del edificio.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. OBJETO DE ESTUDIO

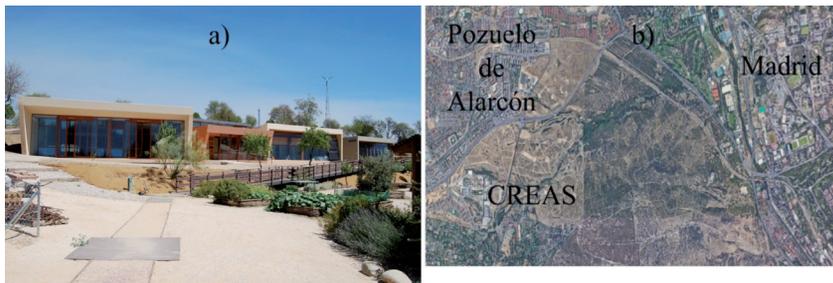
La monitorización se ha realizado sobre el espacio invernadero integrado en el CREAS, un edificio situado dentro del Centro de Educación Ambiental de Pozuelo de Alarcón, Madrid (Figura 1). Construido en 2010 y diseñado de acuerdo a principios bioclimáticos y sostenibles, el edificio de una sola planta está compuesto por cuatro módulos conectados por un pasillo; el situado más al oeste se usa como sala de conferencias y oficina, con un espacio invernadero común en la orientación sur del edificio.

El espacio invernadero tiene una longitud de 10m., 2m. de ancho y 4m. de alto; la orientación sur y norte están acristaladas, la este y la oeste son fachadas tradicionales de doble hoja, el suelo y la cubierta están cubiertos de vegetación; una cornisa en el techo previene la radiación solar en verano y la permite en invierno.

2.2. ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA

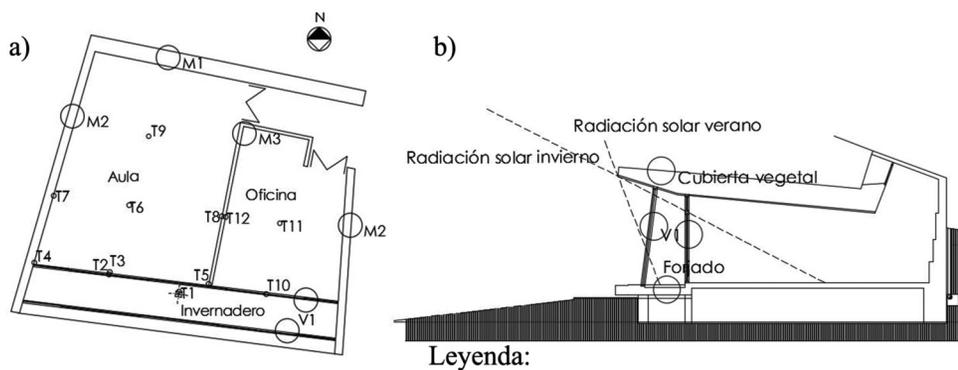
El sistema de monitorización utilizado en este estudio se compone de datalogger de la marca Lufft [30]: OPUS 200 Y OPUS 208; conectando a ellos 12 termopares tipo k de largo variable y situados a un altura de 1,5 m. en cada posición (Figura 2). Siguiendo la metodología validada en estudios previos realizados [31], los datos recogidos durante el ensayo se muestran cada 10 minutos; aquellos sensores que eran susceptibles de mostrar error en los datos debidos a la radiación solar directa se protegieron, acoplando una lámina de aluminio al sensor, con una distancia suficiente para permitir la convección del aire alrededor del termopar.

Los datos fueron recogidos en dos sesiones diferentes para mostrar las diferencias entre el comportamiento en verano y en invierno. Como se observa en otros



Edificio CREAS Coordenadas geográficas: 40° 25' 52"N 3° 46' 58"O

Figura 1: a) Centro de Educación Ambiental (recinto en estudio a la izquierda) b) Localización del edificio



- Tx: Sensores de temperatura
- M2: Tabique exterior tradicional
- V1: Cristal 4+6+4
- Cubierta vegetal: Tablero OSM+Aislamiento+10 cm. Tierra
- Forjado: Losa hormigón 20cm.+acabado superficial de ladrillo o vegetal
- M1: Muro tierra compactada
- M3: Partición interior madera

Figura 2: a) Plano de los recintos en estudio b) Sección constructiva

artículos [32], [33], la monitorización se propone en cada estación del año para un corto periodo climático de referencia; siendo la campaña estival entre el 18 y el 25 de Julio de 2014 y la campaña invernal entre el 22 de Enero y el 8 de Febrero de 2015.

3. RESULTADOS

3.1. MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA DURANTE LA CAMPAÑA DE VERANO

Dentro de la campaña estival, sólo dos días se muestran en este estudio experimental, debido a sus similares condiciones ambientales, los resultados son mostrados en la figura 3. En esta figura, los datos recogidos por los sensores T1, T6 y T11 (ver Fig. 2) fueron seleccionados por encontrarse en el centro de cada habitación (T1 en el invernadero, T6 en la sala y T11 en la oficina), tal y como se recomienda en la norma UNE-EN ISO 7730 [34]. Además, los registros de temperatura y radiación solar exteriores fueron recogidos de una estación meteorológica situada a 5 km del edificio (IES UPM).

Los datos recogidos mostraron que, durante el día, el invernadero tuvo una temperatura intermedia entre el exterior y los recintos interiores, de ahí que se considere la función de este espacio como amortiguador de temperaturas. La influencia de la radiación solar se descarta porque se hubieran producido periodos de sobrecalentamiento en el interior, descritos en artículos referenciados, gracias a la cornisa. La temperatura de los recintos interiores evoluciona durante el martes de la misma forma que la temperatura exterior, lo que muestra que fueron abiertas las ventanas; mientras que el miércoles las temperaturas durante la mañana crecen a un ritmo mucho menor que las exteriores, debido a que las ventanas permanecieron cerradas.

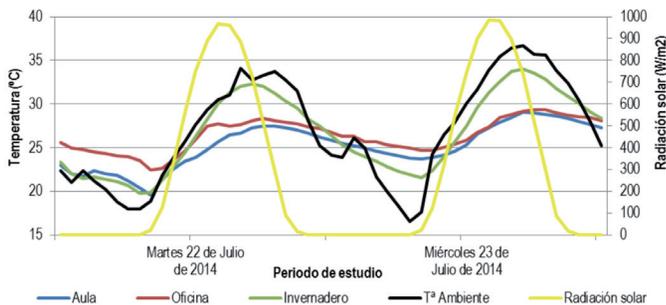


Figura 3: Resultados experimentales de temperatura obtenidos durante el periodo de monitorización de verano

3.2. MONITORIZACIÓN DE TEMPERATURA DURANTE LA CAMPAÑA DE INVIERNO

En la Figura 4 se observan los datos recogidos durante la campaña de invierno de 2015 con el mismo esquema de representación seguido en la campaña estival. Dentro del periodo de monitorización, se escogen dos días con similares condiciones climáticas: temperatura exterior similar y día soleado, para mostrar la influencia del espacio invernadero. El resto de días, no soleados, se activó la calefacción del edificio, por lo que se excluyen de este estudio.

En días soleados, la temperatura alcanzada en el invernadero es mucho mayor que la temperatura ambiente. La cornisa del edificio sí que permite la radiación solar directa sobre el invernadero llegando hasta el interior del edificio; en cuanto la radiación solar comienza, la temperatura interior se eleva, tomándose tempera-

turas mayores de 40°C en el invernadero y de 30°C en los recintos interiores sin influencia de sistemas de calefacción interiores del edificio.

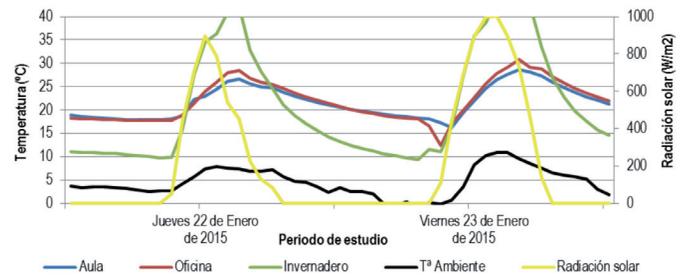


Figura 4: Resultados experimentales de temperatura obtenidos durante el periodo de monitorización de invierno

3.3. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL ESPACIO INVNERADERO

Tomando como objeto de estudio las temperaturas recogidas a medio día para un día en cada campaña (Figura 5), la diferencia en la función del invernadero queda establecida gracias a la cornisa presente en el caso de estudio. Tomando como factores la radiación solar y la temperatura ambiente; en verano, la radiación solar queda anulada por la cornisa y la temperatura ambiente influye por transferencia de calor por convección y conducción; en invierno, la radiación solar influye con la transferencia de calor por radiación en la temperatura alcanzada en el edificio, al ser mayor que la pérdida de energía calorífica por conducción y convección a través de la envolvente hacia el ambiente exterior.

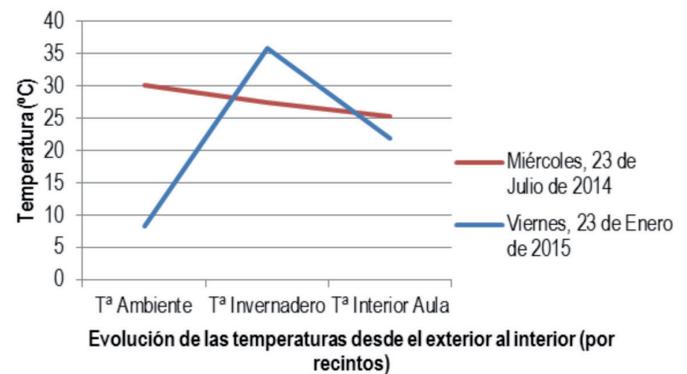


Figura 5: Comparación de temperaturas en las dos épocas en estudio a las 12h del medio día

A través de un espacio acristalado se influencia de manera pasiva al resultado de la temperatura interior del edificio; con diferentes condiciones ambientales de temperatura y la misma radiación solar, se alcanzan similares temperaturas en los recintos

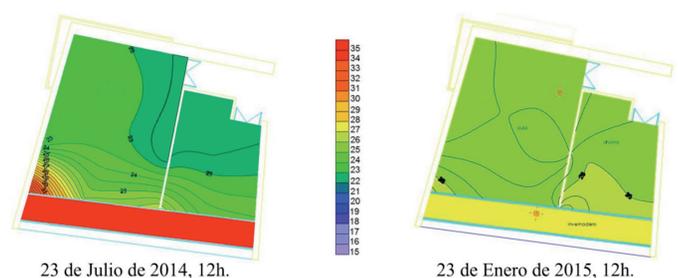


Figura 6: Temperatura (°C) registrada en los recintos para las dos estaciones del año en estudio

interiores (Figura 6); la disposición de sensores permitió monitorizar todo el recinto y observar que, en verano las condiciones ambientales se transmiten por conducción, mientras que en invierno, la radiación solar influye determinadamente en la temperatura interior.

3.4. SIMULACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA SU REPRESENTACIÓN GRÁFICA

Para posteriores análisis en profundidad, se decidió realizar un acercamiento a las metodologías de simulación vistas en otros artículos, introduciendo la geometría en estudio en el motor de cálculo EnergyPlus. Se utilizó el software SketchUp [35] con el plugin OpenStudio [36] y se modelizó el espacio invernadero y los recintos interiores (Figura 7).

Para establecer esta comparación se utilizaron los datos horarios obtenidos durante las dos campañas completas que se realizaron, estos datos se compararon con los resultados obtenidos en el motor de cálculo EnergyPlus para los mismos días, introduciendo el valor climático de la ciudad de Madrid.

La introducción de datos requiere de un conocimiento profundo de la normativa vigente en nuestro país y una adaptación de los recursos que ofrece el programa a ella.

El problema encontrado a este respecto es que el programa modeliza un edificio estanco, olvidando los puentes térmicos y las infiltraciones que sí han de tenerse en cuenta para obtener la demanda energética real del edificio según la norma UNE-EN ISO 13790 [20] y el reglamento vigente en España RITE [37]. Se ha observado esta problemática en la mayoría de estudios referenciados, en los que no se resuelve, y por lo que se consideran mejorables en sus resultados. Se ha solventado añadiendo los puentes

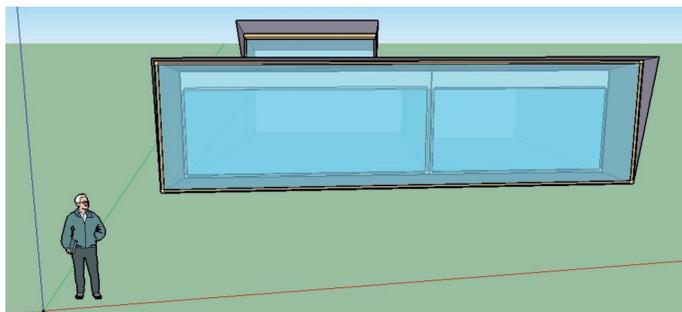


Figura 7: Modelo del edificio simulado con EnergyPlus

Diferencia entre los datos reales y los resultados EnergyPlus		Verano 2014	Invierno 2015
		Diferencia entre los datos reales y los resultados EnergyPlus	
Aula	Error medio (Temp. Aire)	1.09 °C	1.84 °C
	Coef. Correlación	0.91	0.89
Invernadero	Error medio (Temp. Aire)	2.13 °C	6.5 °C
	Coef. Correlación	0.96	0.87
Oficina	Error medio (Temp. Aire)	0.93 °C	2.34 °C
	Coef. Correlación	0.96	0.86

Tabla I: Comparación entre resultados con EnergyPlus y datos experimentales en cada periodo de estudio

térmicos como sub-superficies alrededor de cada una de las aberturas encontradas, así como en los encuentros de los forjados superiores e inferiores acorde a lo establecido por el Código Técnico de Edificación (CTE) DB HE [38].

Las zonas térmicas, los periodos de uso del edificio y la renovación del aire de los recintos también ha sido adaptada a la normativa de España, para ello se han usado los datos establecidos por el CTE DB HS-3 [39] referente a la salubridad en los edificios para cambiar los datos que el programa tiene por defecto, los cuales corresponden a la normativa americana ASHRAE 55-2013 [40]. La temperatura de consigna para cada estación del año se ha obtenido de los valores establecidos por RITE [37].

Por último, el programa EnergyPlus muestra los resultados en un rango horario de multitud de variables físicas, en este caso se han obtenido las temperaturas durante los días referidos en el estudio y se han comparado con los datos reales. Esta comparación se ha llevado a cabo utilizando el programa Statgraphics XVI.II y las herramientas estadísticas de comparación de variables independientes, entre las temperaturas reales en cada recinto y las obtenidas con la simulación en EnergyPlus. Los resultados se muestran en la Tabla I.

El test estadístico de correlación de Pearson muestra una fuerte probabilidad de la relación entre ambos grupos de valores de temperatura. Sin embargo, el error medio es mayor de 1°C en la mayoría de los casos. Esta cuestión puede ser explicada: en invierno es debido al archivo climático por defecto que usa el programa; en este estudio dos días soleados fueron tomados como referencia, lo que es raro en esta estación del año; la radiación solar fue fuerte durante el día y su influencia en las temperaturas interiores se puede ver en los datos recogidos.

Durante la campaña de verano, la relación entre ambos grupos y el error medio es mejor, pero hay un porcentaje de variabilidad que no puede ser explicado por el programa: los hábitos humanos, este patrón de comportamiento no puede ser implementado en el software.

EnergyPlus ha sido validado para simular el comportamiento térmico de un edificio con una buena precisión en términos de la relación entre los datos experimentales y los resultados del programa.

4. CONCLUSIONES

1. El espacio invernadero estudiado tiene una gran influencia en la temperatura interior, alcanzando, en periodo estival, en valor promedio, temperaturas de 24°C; siendo la temperatura del invernadero de 33°C en valor promedio. Este comportamiento de la temperatura interior del aula es semejante en el periodo de invierno, alcanzándose con una temperatura del invernadero de 27°C en valor promedio.
2. La combinación de un espacio invernadero con un diseño constructivo, en el alero de la cubierta, que asegure una mínima captación de radiación solar directa en el interior, en periodo de verano y una máxima captación de radiación solar durante el periodo de invierno tienen un gran potencial como climatizador natural del edificio, en sustitución del uso de sistemas de calefacción.
3. Los coeficientes de correlación obtenidos entre el modelo experimental y el simulado, mayor de 0.90 en periodo de verano y mayor de 0.85 en periodo de invierno, muestran que el motor de cálculo EnergyPlus es validado como software de simulación transitoria del comportamiento térmico de un edificio.
4. EnergyPlus es un código que puede utilizarse, en la fase de

diseño, de viviendas que incorporen sistemas pasivos, para optimizar su eficiencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comisión Europea, "Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios," Boletín Oficial, vol. L135, pp. 13–35, 2010.
- [2] IDAE, "Plan de ahorro y eficiencia energética 2011–20 (Spanish National Renewable Energy Plan (NREP) 2011–2020)," IDAE, p. 268, 2011.
- [3] R. Heras, "Eficiencia Energética en la Edificación y en entornos urbanos," in Semana de la ciencia en Castilla y León, 2014.
- [4] M. D. E. Econom, C. Secretar, P. Nacional, and P. S. Estrat, "Hacia una nueva generación de edificios de consumo energético casi nulo y cero emisiones," Gobierno de España, 2011.
- [5] E. Azar, C. Nikolopoulou, and S. Papadopoulos, "Integrating and optimizing metrics of sustainable building performance using human-focused agent-based modeling," *Applied Energy*, vol. 183, pp. 926–937, 2016.
- [6] A. F. Tzikopoulos, M. C. Karatza, and J. A. Paravantis, "Modeling energy efficiency of bioclimatic buildings," *Energy and Buildings*, vol. 37, no. 5, pp. 529–544, 2005.
- [7] A. D. Stavridou, "Breathing architecture: Conceptual architectural design based on the investigation into the natural ventilation of buildings," *Frontiers of Architectural Research*, vol. 4, no. 2, pp. 127–145, 2015.
- [8] H. Goudarzi and A. Mostafaiepour, "Energy saving evaluation of passive systems for residential buildings in hot and dry regions," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, no. October 2016, pp. 432–446, 2017.
- [9] F. Ascione, R. F. De Masi, F. de Rossi, S. Ruggiero, and G. P. Vanoli, "Optimization of building envelope design for nZEBs in Mediterranean climate: Performance analysis of residential case study," *Applied Energy*, vol. 183, pp. 938–957, 2016.
- [10] E. Cuerda, M. Pérez, and J. Neila, "Facade typologies as a tool for selecting refurbishment measures for the Spanish residential building stock," *Energy and Buildings*, vol. 76, pp. 119–129, 2014.
- [11] F. AlFaris, A. Juaidi, and F. Manzano-Aguilario, "Energy retrofit strategies for housing sector in the arid climate," *Energy and Buildings*, vol. 131, pp. 158–171, 2016.
- [12] G. C. Bakos and N. F. Tsagas, "Technology, thermal analysis and economic evaluation of a sunspace located in northern Greece," *Energy and Buildings*, vol. 31, no. 3, pp. 261–266, 2000.
- [13] G. Mihalakakou, "On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe," *Renewable Energy*, vol. 26, no. 3, pp. 415–429, 2002.
- [14] K. M. Bataineh and N. Fayed, "Analysis of thermal performance of building attached sunspace," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 8, pp. 1863–1868, 2011.
- [15] G. Oliveti, M. De Simone, and S. Ruffolo, "Evaluation of the absorption coefficient for solar radiation in sunspaces and windowed rooms," *Solar Energy*, vol. 82, no. 3, pp. 212–219, 2008.
- [16] G. Oliveti, N. Arcuri, M. De Simone, and R. Bruno, "Solar heat gains and operative temperature in attached sunspaces," *Renewable Energy*, vol. 39, no. 1, pp. 241–249, 2012.
- [17] J. M. Mottard and A. Fissore, "Thermal simulation of an attached sunspace and its experimental validation," *Solar Energy*, vol. 81, no. 3, pp. 305–315, 2007.
- [18] F. Asdrubali, F. Cotana, and A. Messineo, "On the evaluation of solar greenhouse efficiency in building simulation during the heating period," *Energies*, vol. 5, no. 6, pp. 1864–1880, 2012.
- [19] Comisión Europea, *European passive solar handbook Preliminary edition: Basic principles and concepts for passive solar architecture*, Trafalgar. Brussels: Trafalgar Square Publishing, 1986.
- [20] Comité Técnico AEN/CTN 92, ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. 2008.
- [21] L. Thermal Energy System Specialists, "TRNSYS," 2016. [En línea]. Enlace: <http://www.trnsys.com/>. [Accedido: 05-Jul-2016].
- [22] U. S. D. of E. (DOE), "EnergyPlus," 2016. [En línea]. Enlace: <https://energyplus.net/>. [Accedido: 27-Jun-2016].
- [23] A. R. Rempel, A. W. Rempel, K. V. Cashman, K. N. Gates, C. J. Page, and B. Shaw, "Interpretation of passive solar field data with EnergyPlus models: Un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon," *Building and Environment*, vol. 60, pp. 158–172, 2013.
- [24] J. S. Sage-Lauck and D. J. Sailor, "Evaluation of phase change materials for improving thermal comfort in a super-insulated residential building," *Energy and Buildings*, vol. 79, pp. 32–40, 2014.
- [25] J. Zhao, B. Lasternas, K. P. Lam, R. Yun, and V. Loftness, "Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining," *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 341–355, 2014.
- [26] G. Dall'O', L. Sarto, N. Sanna, and A. Martucci, "Comparison between predicted and actual energy performance for summer cooling in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy)," *Energy and Buildings*, vol. 54, pp. 234–242, 2012.
- [27] G. Dall'O', L. Sarto, A. Galante, and G. Pasetti, "Comparison between predicted and actual energy performance for winter heating in high-performance residential buildings in the Lombardy region (Italy)," *Energy and Buildings*, vol. 47, pp. 247–253, 2012.
- [28] A. J. Marszal, P. Heiselberg, J. S. Bourrelle, E. Musall, K. Voss, I. Sartori, and A. Napolitano, "Zero Energy Building - A review of definitions and calculation methodologies," *Energy and Buildings*, vol. 43, no. 4, pp. 971–979, 2011.
- [29] M. Owrak, M. Aminy, M. T. Jamal-Abad, and M. Dehghan, "Experiments and simulations on the thermal performance of a sunspace attached to a room including heat-storing porous bed and water tanks," *Building and Environment*, vol. 92, pp. 142–151, 2015.
- [30] Lufft, "Opus 200/300," Lufft, 2001.
- [31] R. Felices, C. Viñas, and J. C. Losada, "General methodology applied to monitoring a building and assess its energy performance," in *Book of extended abstracts. III International congress on construction and building research*, 2015, pp. 33–34.
- [32] O. Guerra-Santin and C. A. Tweed, "In-use monitoring of buildings: An overview of data collection methods," *Energy and Buildings*, vol. 93, pp. 189–207, 2015.
- [33] A. Monge-Barrio and A. Sánchez-Ostiz, "Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions," *Energy and Buildings*, vol. 108, pp. 244–256, 2015.
- [34] Comité Técnico AEN/CTN 81, "UNE-EN ISO 7730:2006 Ergonomía del ambiente térmico Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local," Asociación Española de Normalización (AENOR), 2006.
- [35] Trimble, "SketchUp." Sunnyvale, California, USA, 2016.
- [36] National Laboratory of the U.S. Department of Energy, "OpenStudio." USA, 2016.
- [37] Gobierno España, *Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios*. Spain: MINETUR, 2013.
- [38] Ministerio de Fomento, Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación. España, 2013, pp. 67137–67209.
- [39] Gobierno España, Documento Básico HS Salubridad. Spain, 2009, p. 144.
- [40] ASHRAE, *ASHRAE Handbook 2013 Fundamentals*, vol. 53, no. 9. 2013.

AGRADECIMIENTOS

Al Ayuntamiento de Pozuelo de Alarcón y al Aula de Educación Ambiental, por el convenio firmado con la Universidad Politécnica de Madrid gracias al que se puede llevar a cabo este estudio.

Juan C. Losada agradece el apoyo del Ministerio de Economía y Competitividad Español Proyecto No. MTM2012-39101-C02-01.