





INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN EDIFICIOS HISTÓRICOS PROVOCADO POR EL ENTORNO URBANO Y LAS MODIFICACIONES DE PROYECTO: EL CASO DE LA CASA DUCLÓS

Recibido 16/06/2020
Aceptado 27/10/2020

INFLUENCE ON ENERGY PERFORMANCE IN HISTORICAL BUILDINGS CAUSED BY THE URBAN ENVIRONMENT AND PROJECT MODIFICATIONS: THE CASE OF THE DUCLÓS HOUSE

DAVID BIENVENIDO-HUERTAS

Doctor en Arquitectura

Investigador, Departamento de Construcciones Arquitectónicas II

Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior

de Ingeniería de Edificación

Sevilla, España

<https://orcid.org/0000-0003-0716-8589>

jbienvenido@us.es

ISIDRO CORTÉS

Doctor en Arquitectura

Profesor titular, Departamento de Expresión Gráfica

e Ingeniería en Edificación

Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación

Sevilla, España

<https://orcid.org/0000-0003-4541-2327>

icortes@us.es

RESUMEN

Los edificios históricos constituyen parte fundamental del patrimonio cultural tangible de la sociedad actual. El cumplimiento de las exigencias de ahorro energético para mitigar el cambio climático, sin embargo, puede verse limitado aquí debido a las características propias de estos edificios. Además, en el caso de las construcciones históricas, los principios de diseño bioclimático aplicados por los arquitectos, desde principios del siglo XX hasta la actualidad, pueden haber perdido efectividad. Ello ocurre, a veces, por las modificaciones en proyecto o por efectos del desarrollo urbanístico. En este estudio se analizan estos dos aspectos en un determinado edificio histórico ubicado en Sevilla: la Casa Duclós de José Luis Sert. Este presenta modificaciones en la cubierta, cuando se compara la proyectada y la construida. Asimismo, su entorno urbano se ha transformado desde que la Casa fue edificada. Para el análisis expuesto en este artículo, se realizaron simulaciones energéticas utilizando datos climáticos correspondientes al periodo 2000-2019. Los resultados muestran la influencia que tuvieron las modificaciones de la cubierta proyectada y la expansión urbanística en el rendimiento energético del edificio, con respecto a la concepción original del inmueble.

Palabras clave

patrimonio arquitectónico, ahorro de energía, estrategias urbanas, arquitectura moderna.

ABSTRACT

Historic buildings are a fundamental part of the tangible cultural heritage of today's society. However, the energy saving requirements to limit climate change may present limitations with respect to the characteristics of these buildings. In the case of historical buildings from the early 20th century to the present, the bioclimatic design principles applied by architects may have been limited. In some cases, it may be due to project modifications or urban expansion. In this study, these two aspects are analyzed in a case of a historic building located in Sevilla: The Duclós House by José Luis Sert. This building presents modifications in the roof between the projected and the built one. Likewise, the urban environment is different from the one existing when it was built. The analysis was carried out with energy simulations using weather data from 2000 to 2019. The results show the influence that the modifications of the projected roof and the urban expansion had on the energy performance of the building with respect to the original idea of the building.

Keywords

Architectural heritage, energy saving, urban strategies, modern architecture

INTRODUCCIÓN

Actualmente, existe un claro objetivo por conseguir un ahorro energético en los edificios existentes (Akande, Odeleye, Coday y JimenezBescos, 2016). Si bien, la mayor parte de los estudios se han centrado en el análisis energético de edificios residenciales, administrativos o comerciales, se detecta que existe escasez de investigaciones dedicadas a analizar el rendimiento energético de edificios patrimoniales (Lidelöw, Örn, Luciani y Rizzo, 2019). Los existentes están orientados a disminuir el consumo energético para garantizar unas condiciones de conservación apropiadas (De Rubeis, Nardi, Muttillio y Paoletti, 2019), o bien, de habitabilidad adecuadas para sus usuarios (Sugár, Talamon, Horkai y Kita, 2020). Sin embargo, a pesar de estos esfuerzos, hay una falta de estudios que consideren el impacto que han tenido las modificaciones de los edificios patrimoniales en su rendimiento energético. Aspectos, tales como la expansión urbanística, pueden modificar el rendimiento energético de los edificios, al alterar las condiciones de sombreado del edificio existente (Lobaccaro *et al.*, 2019). Un ejemplo de ello fue reportado por Baño Nieva y Vigil-Escalera del Pozo (2005) en un edificio con invernaderos que favorecen la captación de radiación solar en Madrid. El crecimiento urbanístico provocó el desarrollo de edificaciones de mayor altitud en sus alrededores, lo que ocasionó que el diseño previo planteado por los arquitectos quedará inutilizado. A ello se suman factores como la imposición de las técnicas tradicionales de una región en los procesos de ejecución de estos edificios, la que puede causar modificaciones en su rendimiento energético con respecto a lo originalmente proyectado.

Ante estas circunstancias, el presente estudio plantea un análisis del impacto energético actual de un edificio histórico de principios del siglo XX, considerando las modificaciones que ha sufrido, tanto a efectos de ejecución como de crecimiento urbanístico. El caso seleccionado fue la Casa Duclós, obra de José Luis Sert, ubicada en Sevilla (España) y construida en 1930. José Luis Sert fue uno de los arquitectos españoles más importantes del siglo pasado. A pesar de su importancia, la obra de Sert en España es escasa. De entre sus pocas construcciones españolas, la Casa Duclós constituye, ciertamente, la obra más olvidada del arquitecto en el panorama internacional, por lo que se conocen pocas investigaciones relacionadas con la misma (López Rivera y Parra Bañón, 2012). Al igual que otras construcciones célebres de la época, como las de Frank Lloyd Wright (Beltrán-Fernández, García-Muñoz y Dufrasnes, 2017) o Le Corbusier (Iommi, 2019), la obra de Sert se caracteriza por poseer un gran componente bioclimático en sus proyectos.

En concreto, existe la certeza de que se llevaron a cabo modificaciones en la casa respecto a las especificaciones en proyecto, seguramente debido a una falta de dirección durante la ejecución de la obra:

Sobre la dirección de la obra los datos que tenemos son imprecisos. Sert nos dice que visitó el solar y la obra en algunas ocasiones, pero no recuerda detalles precisos de la dirección [...]. Los propietarios nos hablan de ciertas modificaciones, durante la construcción [...]. (Delgado Pérez, Pérez Escolano, Sebastián Bollaín y Ramón Sierra, 1968, p. 117).

Asimismo, el edificio fue situado en una de las zonas más alejadas del núcleo urbano en el momento de su construcción: una parcela trazada por el arquitecto Aníbal González en los terrenos del cortijo Maestrescuela, que pasó a conocerse popularmente como barrio de Nervión (Bono Ruiz de la Herrán, García Vásquez, Pérez Escolano, Pico Valimaña y Ortega, 1996). Se trataba de una zona de ensanche no consolidada, incluso una década después de su construcción, tal y como se puede apreciar en la Figura 1. No obstante, la expansión urbanística a lo largo del siglo XX envolvió a la Casa Duclós, la que quedó finalmente localizada en una calle estrecha y rodeada de edificios de gran tamaño (Figura 1).



1945



Actualidad

Figura 1. Planos de la zona de la Casa Duclós en 1945 (izquierda) y actual (derecha). Fuente: Elaboración de los autores a partir de los planos de la cartoteca y del Plan General de Ordenación Urbanística del Ayuntamiento de Sevilla.

Así pues, el caso de estudio seleccionado reuniría los condicionantes esperados para ser analizado. En primer lugar, se realiza una investigación del detalle constructivo que presenta diferencias entre lo ejecutado y lo proyectado: la cubierta. Posteriormente, se efectúa un análisis energético del impacto que ha supuesto las modificaciones generadas, tanto en la cubierta como en el entorno urbanístico del edificio, empleando datos climáticos de los últimos 20 años de Sevilla.

ANÁLISIS CONSTRUCTIVO DE LA CASA DUCLÓS

La Casa Duclós se encuentra localizada en Sevilla capital. Se trata de una vivienda unifamiliar ubicada en una parcela de 535 m² (Figura 2), que ocupa una superficie de 169 m². La distribución vertical de la casa está compuesta por los siguientes niveles: semisótano, planta baja, planta primera y ático. La conexión entre los diferentes niveles se concreta mediante escaleras de un solo tramo (Quesada, 2008).

La planta baja consta de un recibidor, una cocina, un garaje, un aseo y un amplio salón en L, en cuya distribución inicial conformaba el gabinete y antiguo salón. La planta primera se encuentra distribuida a partir de cuatro dormitorios, dos baños y dos terrazas. Tras una reforma, la distribución de la planta quedó en 3 dormitorios, dos baños, una sala de estar y dos terrazas (Lousame, 2011). El ático estaba compuesto por un lavadero, que terminó cerrándose para disponerse de un espacio para tender protegido de la lluvia. Además, cuenta con un trastero, un dormitorio, un baño y una terraza (Lousame, 2011).

DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA

La cimentación de la casa está constituida por una losa de hormigón en masa de 50 cm de espesor, sobre la que se colocó directamente el material de acabado de la planta de sótano. Los muros de dicha planta son de hormigón en masa de 50 cm de espesor, sin ningún tipo de aislamiento ni drenaje, y los forjados son de hormigón armado de 25 cm de espesor (Bono Ruiz de la Herrán et al., 1996).

En cuanto a los cerramientos, Sert diseñó la vivienda teniendo en cuenta la interacción bioclimática de la misma con su entorno. Por este motivo, el edificio posee dos configuraciones diferentes de fachada, dependiendo de su orientación. La fachada norte está compuesta por una solución tradicional de muro macizo de 25 cm, mientras que el resto de fachadas están constituidas por dos hojas de ladrillo separadas por una cámara de aire no ventilada (Lousame, 2011). Las carpinterías presentes en el edificio se encuentran distribuidas por todas sus fachadas, con diferentes formas rectangulares. Uno de los aspectos que más influye en las estrategias pasivas de confort es el



Figura 2. Fotografía exterior de la Casa Duclós. Fuente: Quesada (2008, p. 194).



Figura 3. Vista aérea de la Casa Duclós y los edificios existentes alrededor. Fuente: Elaboración de los autores.

tratamiento de los huecos. En la Casa Duclós, los huecos se encuentran presentes en la mayoría de las fachadas, pero tienen mayor presencia en la fachada norte. El resto de los huecos disponen de elementos de sombreado como las ventanas retranqueadas de la primera planta de la fachada sur. Con estos sistemas se permite evitar la incidencia directa del sol en épocas de verano, cuando se encuentra a mayor altura, como también la incidencia directa en época invernal, cuando el sol se encuentra más bajo.

Como se ha indicado, la edificación se encuentra actualmente rodeada por construcciones de mayor altura y volumen (Figura 3), que limitan la incidencia de la radiación directa del sol sobre cada uno de sus elementos de cerramiento, por lo que las diferentes premisas

de sombreado consideradas en la elaboración del proyecto pueden haber quedado inoperativas, impidiendo en el período invernal la incidencia solar capaz de generar un mayor confort térmico en las diferentes estancias.

CUBIERTA

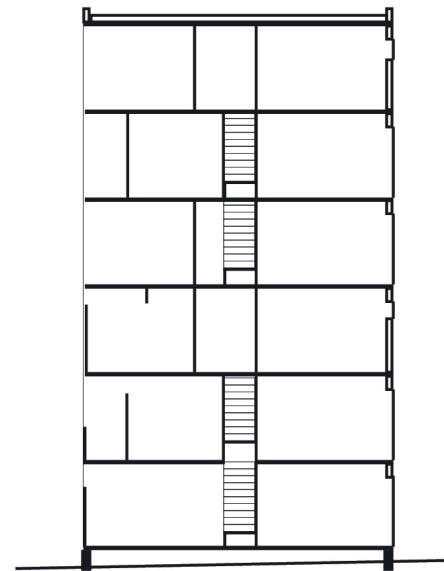
La cubierta es uno de los elementos más significativos de la Casa Duclós, al ser el elemento más expuesto a la radiación solar. La cubierta fue proyectada siguiendo la tipología constructiva de la cubierta catalana, pero la falta de dirección de la obra por parte del arquitecto dio lugar a que se ejecutara la cubierta siguiendo las técnicas constructivas de la región en aquella época (Paricio Casademunt, 1998). A pesar de ello, la cubierta sí presenta una radiación solar importante durante la mayor parte del año. Sert entendía que la terraza era una extensión más de la casa y, por tal motivo, quiso llevar a cabo tres estrategias claramente identificadas para la protección y búsqueda del confort interior: la creación de un jardín en altura, la disposición de un toldo manual colocado mediante un soporte metálico y una cubierta ventilada. En definitiva, ante diversas casuísticas, se optó por una cubierta andaluza (Lousame, 2011).

Analizando la documentación gráfica del proyecto, se puede apreciar, en el plano de la sección del edificio (Figura 4), el espacio destinado a una cámara de aire, lo que corresponde a la idea original del proyecto; aunque existen evidencias, como la falta de respiraderos o el embaldosado cerámico de 14x28 centímetros, que indican que la azotea se realizó siguiendo los cánones de las cubiertas tradicionales andaluzas (Lousame, 2011).

De este modo, existen indicios que muestran que la cubierta fue proyectada con una cámara de aire. Sin embargo, el hecho de que la Casa Duclós carezca de respiraderos es una de las razones por las que se supone que no se llegó a ejecutar la cubierta proyectada (Paricio Casademunt, 1998). En este sentido, cabe mencionar otra obra de José Luis Sert que se diseña prácticamente a la par que la Casa Duclós: el edificio de la calle Muntaner, en Barcelona (España). Esta edificación cuenta con una solución particular de la tradicional cubierta catalana de la época. Analizando la documentación gráfica de dicho proyecto, se puede apreciar el mismo tipo de representación evidenciada en el plano de la Casa Duclós (Figura 5). Según diversas investigaciones, la solución planteada por Sert utilizaría una propuesta mixta entre la cubierta tradicional catalana sobre tabiques conejeros y la solución empleada por Le Corbusier y Jeanneret en la Casa Doble en la Weissenhofsiedlung, con la solería colocada sobre arena y grava filtrante, bajo la cual se disponía de una capa impermeabilizante (Lousame, 2011; Paricio Casademunt, 1996).



Figura 4. Plano de sección de la Casa Duclós. Fuente: Elaboración de los autores.



Sección

Figura 5. Planos de sección del edificio de la calle Muntaner. Fuente: Elaboración de los autores.

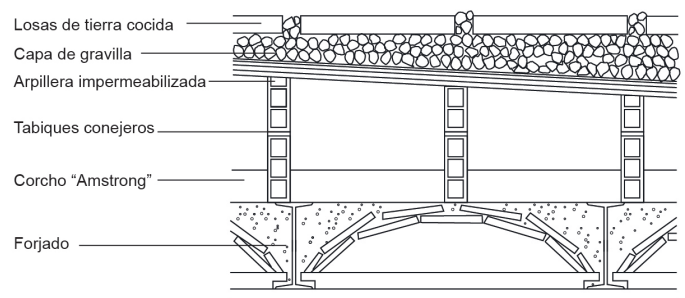


Figura 6. Planos de sección del edificio de la calle Muntaner. Fuente: Paricio Casademunt (1996, p. 421).

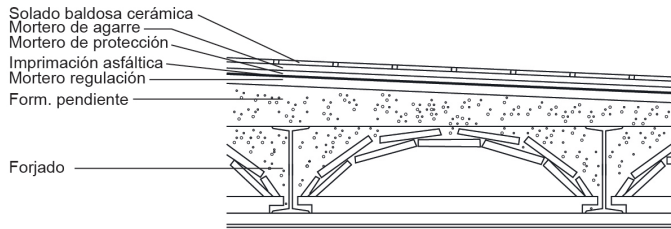


Figura 7. Detalle constructivo de la cubierta ejecutada en la Casa Duclós. Fuente: Elaboración de los autores.

La cubierta tradicional catalana de la época estaba constituida por dos tableros de forjado: uno horizontal y otro con una pendiente de entre el 6% y el 8%, apoyado sobre viguetas de madera o de perfilera metálica. Pero, desde principios del siglo XX, se pasó a un modelo constituido por un tablero de rasilla apuntalado sobre tabiques conejeros. La ventilación de aire en los dos casos se producía por la fachada y los patios interiores, creando una circulación de aire que desecaba cualquier filtración que se produjera por el tablero.

Por lo tanto, aunque se desconozca, por la inexistencia de bibliografía, qué tipo de cubierta se proyectó para la Casa Duclós, se conoce con exactitud el detalle constructivo de la cubierta de la calle Muntaner (Figura 6), que está constituida por una rasilla apoyada sobre tabiques conejeros, sobre la que se colocó una arpillera impermeabilizante, una capa de gravilla de regularización que actuaba como capa drenante y un acabado mediante losas de 43 x 43 cm, con junta entre piezas de 2,5 cm. En el interior de la cámara ventilada, entre los tabiques conejeros, se empleó, como material aislante, corcho comprimido de la empresa Armstrong Cork Company (Olona, 2015; Paricio Casademunt, 1996).

Ahora bien, la cubierta realmente ejecutada no fue la proyectada. Es preciso aclarar que no se disponen de datos acerca del detalle constructivo de la cubierta ejecutada. Ante la imposibilidad de determinar su composición a través de otro tipo de pruebas, tanto destructivas como no destructivas, se llevó a cabo una estimación de su composición a partir de la analogía con otras construcciones similares de la época (Ficco, Iannetta, Ianniello, D'Ambrosio Alfano y Dell'Isola, 2015). De esa forma, se acuerda que el tipo de cubierta construida está constituida por una formación de pendiente de hormigón aligerado de espesor variable, sobre la que se aplicó una capa de regulación de mortero para la posterior imprimación asfáltica (Figura 7). Sobre dicha imprimación, se aplicó, a su vez, una capa de mortero de protección y se colocó el acabado cerámico con su correspondiente mortero de agarre. En consecuencia, se puede afirmar que la cubierta no dispone de ningún elemento con una baja conductividad térmica que pueda servir de aislamiento.

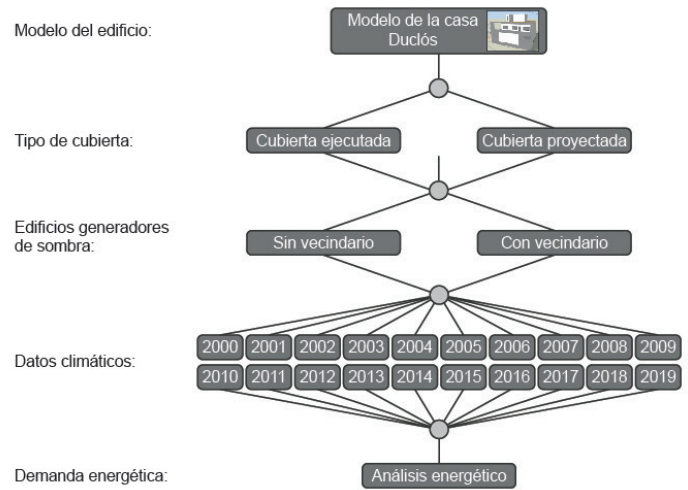


Figura 8. Flujo de trabajo seguido en la investigación. Fuente: Elaboración de los autores.

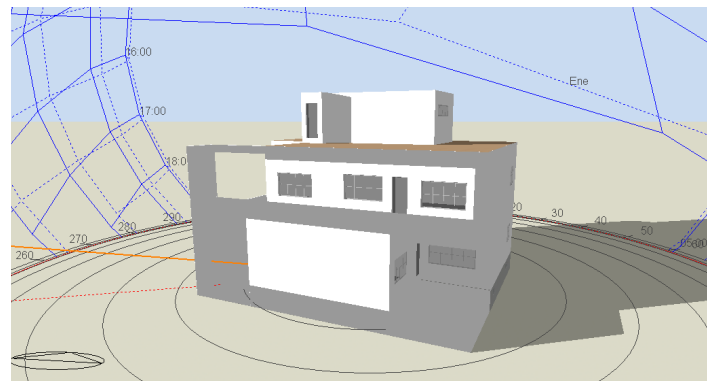


Figura 9. Modelo de la Casa Duclós en DesignBuilder. Fuente: Elaboración de los autores.

METODOLOGÍA

El flujo metodológico de la investigación consistió en un proceso de simulación energética realizado en DesignBuilder y cuyos principales pasos están resumidos en la Figura 8. Tal y como se puede apreciar, la Casa Duclós fue modelada en primer lugar (Figura 9). Para ello, se utilizaron los datos planimétricos disponibles del proyecto y se definieron los cerramientos con los detalles constructivos descritos en las secciones anteriores. En la Tabla 1, se indican los valores de conductividad térmica y espesores de las capas de los principales elementos de la envolvente. Los valores de conductividad térmica utilizados son los establecidos en el Catálogo de Elementos Constructivos y en las herramientas de certificación energética de España. Conviene destacar que se definieron dos modelos en función del tipo de cubierta: cubierta proyectada (con cámara) y cubierta ejecutada (plana andaluza). En la Tabla 2, se señalan las propiedades termofísicas establecidas para cada cubierta.

Elemento	Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/(mK))
Fachada	Mortero de cemento	0,020	1,80
	Fábrica de ladrillo	0,10	0,43
	Mortero de cemento	0,020	1,80
	Cámara de aire	0,05	0,025
	Fábrica de ladrillo hueco	0,05	0,313
	Revoco de yeso	0,015	0,57
Muro sótano	Hormigón en masa	0,50	1,65
Suelo sótano	Hormigón en masa	0,15	1,65
	Mortero de cemento	0,02	1,80
	Baldosa de gres	0,10	2,30

Tabla 1. Capas, espesores y conductividad térmica de la fachada y de los muros y suelo de sótano considerados en el proceso de simulación energética. Fuente: Elaboración de los autores.

Elemento	Capa	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/(mK))
Cubierta ejecutada	Acabado	0,010	1,00
	Mortero de agarre	0,01	1,80
	Mortero de protección	0,015	1,80
	Imprimación asfáltica	0,004	0,23
	Mortero de regulación	0,015	1,80
	Hormigón aligerado	0,20	1,15
	Forjado	0,25	2,5
	Revoco de yeso	0,015	0,57
Cubierta proyectada	Acabado	0,010	1,00
	Capa de grava	0,050	1,00
	Arpillera impermeabilizante	0,013	0,23
	Rasillón cerámico	0,04	0,29
	Cámara de aire	0,02	-
	Corcho comprimido	0,04	0,10
	Forjado	0,25	2,5
	Revoco de yeso	0,015	0,57

Tabla 2. Capas, espesores y conductividad térmica de las cubiertas ejecutada y proyectada. Fuente: Elaboración de los autores.

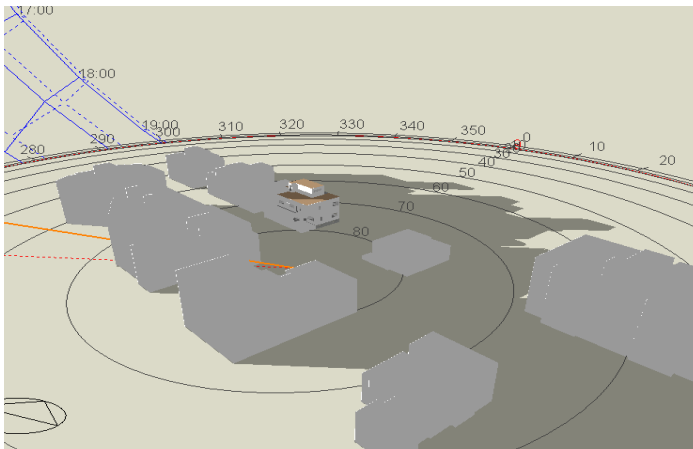


Figura 10. Modelo de la Casa Duclós con los edificios de contorno en DesignBuilder. Fuente: Elaboración de los autores.

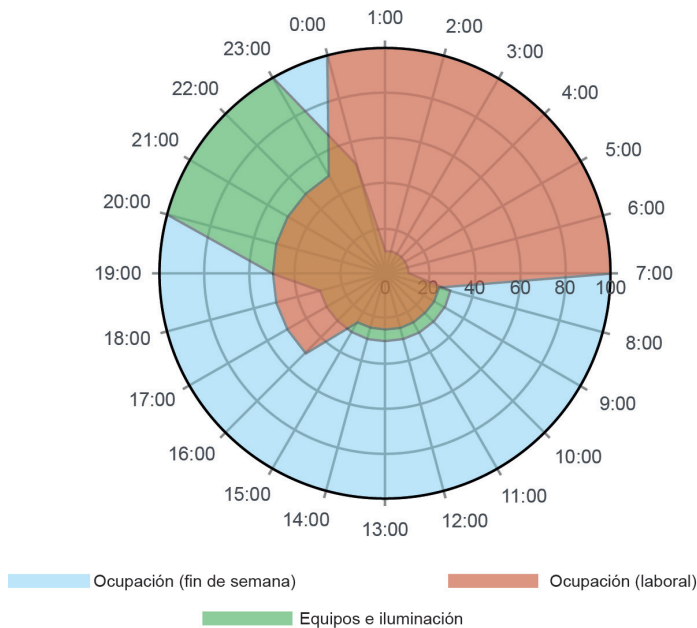


Figura 11. Distribución porcentual de las cargas del perfil residencial del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Elaboración de los autores.

Asimismo, se diseñaron dos tipos de modelos para valorar la presencia o ausencia de edificios en el entorno. La carencia de edificios permitiría analizar el rendimiento energético del edificio en el caso de que no se hubieran desarrollado edificios de gran tamaño en los alrededores, mientras que el análisis con los edificios del entorno permite valorar el rendimiento energético actual. Con ese fin, se descarga la base cartográfica de catastro para modelar los edificios del vecindario, considerando una altura de 3 metros por planta (Figura 10).

En relación a los patrones operacionales de los sistemas de climatización y los perfiles de carga, se utilizó el perfil definido para edificios residenciales en el Código Técnico de la Edificación. Este considera tres tipos de cargas (ocupación,

Sistema	Meses	Temperatura de consigna/ periodo del día			
		0:00-6:59	7:00-14:59	15:00-22:59	23:00-23:59
Sistema de calefacción	Octubre – mayo	17	20	20	17
Sistema de aire acondicionado	Junio – sept	27	-	25	27

Tabla 3. Valores horario de las temperaturas de consigna definidas en el perfil residencial del Código Técnico de la Edificación. Fuente: Elaboración de los autores.

equipos e iluminación) y establece dos tipos de distribución diferentes en función del tipo de día (laboral y fin de semana). En la Figura 11, se advierten las distribuciones porcentuales de las cargas de dicho perfil. El valor máximo de la carga de los equipos y de los sistemas de iluminación es de 4,4 W/m²; mientras que, para la ocupación, se establece un valor máximo para la carga sensible y para la carga latente de 2,15 W/m² y de 1,36 W/m², respectivamente. Con respecto al patrón operacional de los sistemas de climatización, el Código Técnico de la Edificación distingue dos períodos de funcionamiento en función de la época del año. En la Tabla 3, se indican los valores de temperatura de consigna y horarios considerados en dicho perfil residencial. Es importante aclarar que incluir en las comparaciones el estado del edificio sin vecindario no responde al objetivo de determinar el rendimiento energético en 1930, dado que en esa fecha no existían sistemas activos para tales efectos; lo que se pretende es evaluar las consecuencias que ha tenido la expansión urbanística en el rendimiento energético del edificio, contemplando las exigencias de los usuarios del siglo XXI.

En referencia a los datos climáticos, se recopilaron los valores horarios de temperatura y de humedad relativa desde el año 2000 hasta el año 2019 en Sevilla, a través de la Agencia Estatal de Meteorología en España. Con estos datos horarios, se diseñaron archivos EnergyPlus Weather específicos para cada año, de tal manera que se pudieran realizar simulaciones energéticas que simularan el rendimiento energético del caso de estudio cada año. Cabe mencionar que no se simularon años anteriores al 2000 debido a la falta de datos horarios en Sevilla. Finalmente, dado que el caso de estudio fue analizado combinando las cubiertas y los entornos urbanos con datos climáticos de los últimos 20 años, los resultados de este análisis están basados en un proceso de simulación constituido por un total de 80 simulaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los resultados se basó en las modificaciones detectadas en la demanda energética anual del edificio.

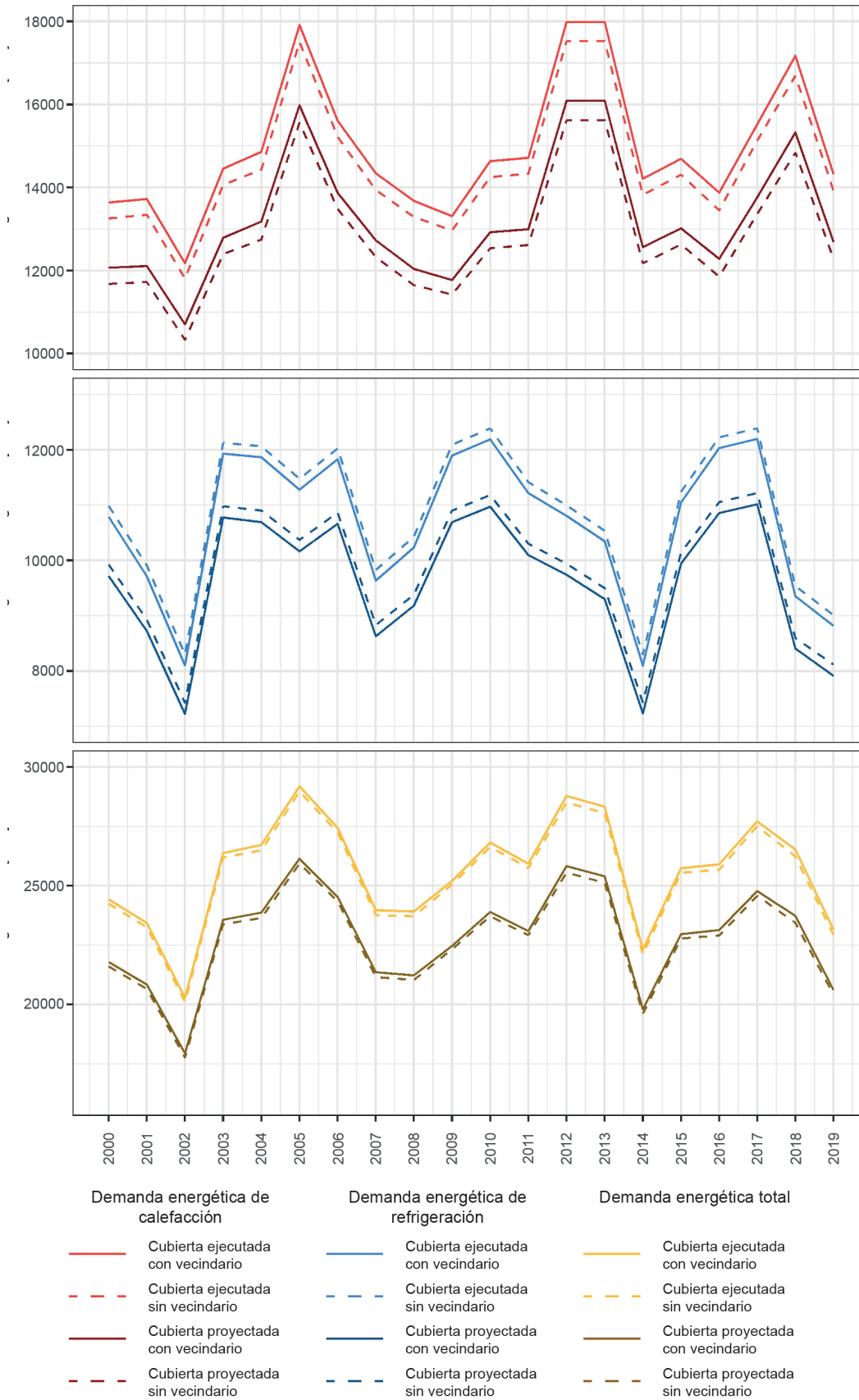


Figura 12. Valores de demanda energética anual obtenidos con los diferentes supuestos considerados. Fuente: Elaboración de los autores.

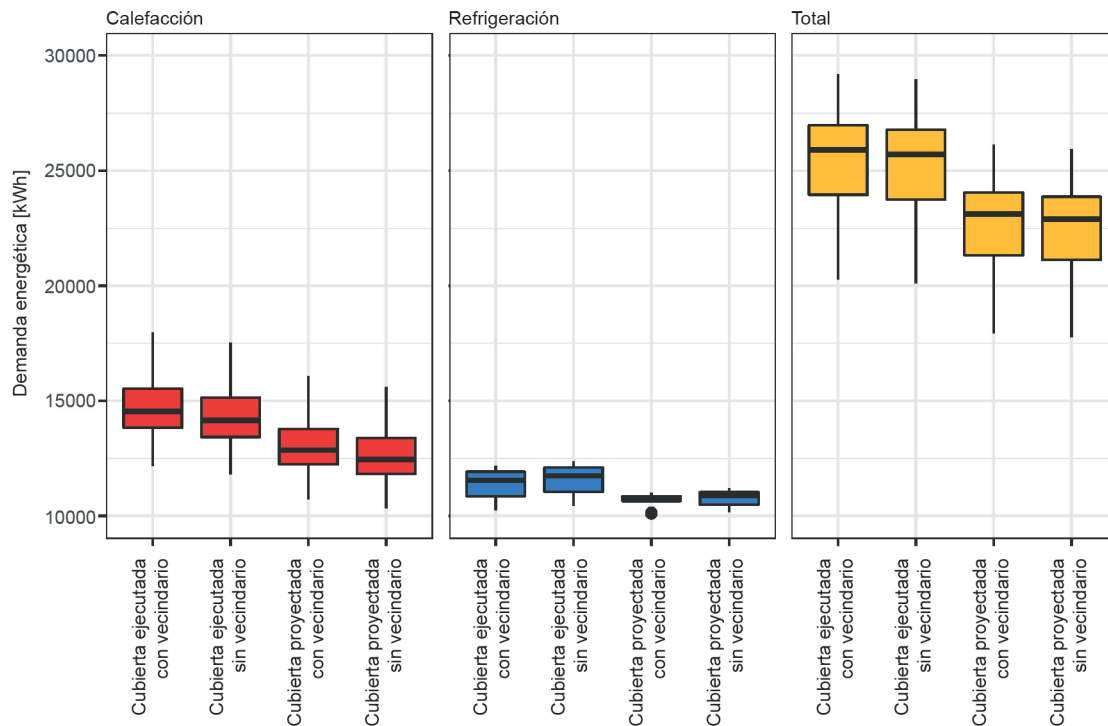


Figura 13. Diagramas de caja de las distribuciones de demanda energética anual de cada supuesto considerado para la Casa Duclós. Fuente: Elaboración de los autores.

Dichos datos se expresan, primero, en la Figura 12, donde se incluyen las series de tiempo obtenidas de las demandas energéticas con los diferentes supuestos de la Casa Duclós. Tal y como se puede apreciar, el estilo de cubierta proyectado por Sert constituye la tipología de cubierta con una menor demanda energética. Sin embargo, el fenómeno de expansión urbanística ha alterado el rendimiento energético del caso de estudio, aunque esta modificación depende del tipo de demanda energética: en cuanto a la demanda energética de calefacción, el caso de estudio proyectado, sin vecindario, obtuvo menores valores; mientras que, en cuanto a la demanda energética de refrigeración, obtuvo mayores valores. A pesar de esto, la mayor contribución porcentual de la demanda energética de calefacción en la demanda energética total (debido a que obtiene mayores valores a lo largo del año que la demanda energética de refrigeración) provoca que la combinación más adecuada sea el caso proyectado sin vecindario.

Para observar este aspecto con mayor detalle y de manera cuantificada, los valores de los cuartiles obtenidos en las distribuciones de la demanda energética anual de los últimos años (es decir, 2000-2019) son recogidos en la Figura 13. Así, el caso con vecindario es el que dispone de los valores de cuartiles más elevados en la demanda energética de calefacción. En concreto, resulta aquí un valor superior, de entre 386,5 y 412,38 kWh con respecto al caso actual sin vecindario, y de entre 1.597,83 y 2.149,35 kWh en los diferentes supuestos del caso de estudio proyectado. Esta misma tendencia se detecta en la demanda energética total, con valores superiores de

hasta 204,62 kWh con respecto al edificio ejecutado sin vecindario y de hasta 3.104,14 kWh en comparación con el edificio proyectado por Sert. Esto supone desviaciones porcentuales significativas (Figura 14) y constata el peor rendimiento energético que tiene la Casa Duclós actualmente.

En la Figura 14, se muestra el ahorro promedio obtenido entre los diferentes supuestos de la Casa Duclós en relación con el caso existente. De esta manera, se puede advertir que las modificaciones de diseño y del entorno del edificio han desembocado en un peor rendimiento energético. En este sentido, aunque el crecimiento urbanístico ha supuesto una mejora en la demanda energética de refrigeración (con un ahorro promedio de 193,70 kWh), el efecto en la demanda energética total es negativo (con un incremento promedio de la demanda energética de 207,68 kWh). Ahora bien, donde se detecta la mayor diferencia es entre las dos tipologías de cubiertas analizadas: la cubierta proyectada por Sert conlleva ahorros promedios significativos en todas las demandas energéticas (de 2.762,91 kWh, en el caso con vecindario y de 2.966 kWh, sin vecindario). Como era de esperar, los edificios circundantes tienen un efecto de ahorro diferente en función de la demanda energética, pero que, debido a los criterios operacionales establecidos por el Código Técnico de la Edificación, genera un mejor rendimiento, cuando se trata de un entorno sin edificaciones. En cualquier caso, este rendimiento podría cambiar en años venideros ante el progresivo incremento de la temperatura exterior derivada del cambio climático.

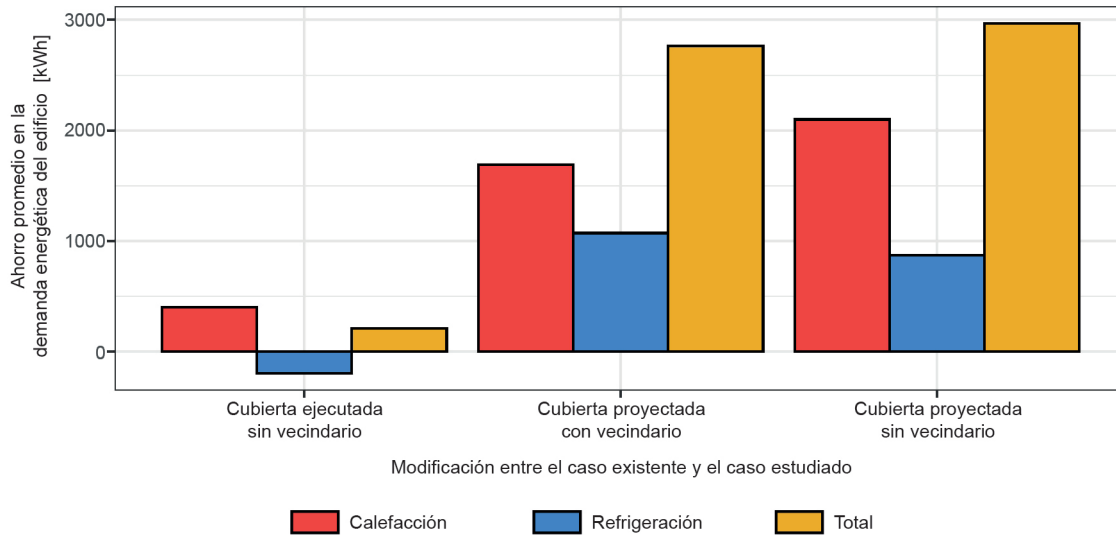


Figura 14. Ahorro promedio en la demanda energética entre el estado actual de la Casa Duclós (cubierta ejecutada y edificios alrededor) y los otros modelos considerados. Fuente: Elaboración de los autores.

CONCLUSIÓN

Los resultados de este estudio revelan la gran afección que puede tener el crecimiento urbanístico en el rendimiento energético de los edificios patrimoniales. Los resultados muestran cómo las estrategias bioclimáticas diseñadas por Sert para los huecos quedan anuladas con los edificios circundantes de mayor tamaño. Este aspecto, que puede resultar negativo *a priori*, conviene analizarlo en un contexto temporal mayor, ya que podría ser previsible que, a lo largo del siglo XXI, este mayor sombreado sea beneficioso para los usuarios de la casa, considerando el cambio climático. En cualquier caso, resulta fundamental examinar los elementos circundantes que existen actualmente y el estado existente en el momento de su construcción para conocer en detalle las transformaciones energéticas que ha sufrido el edificio a lo largo de su historia. Este factor podría explicar las posibles medidas adoptadas por los usuarios de la vivienda a lo largo de su vida útil. Por ejemplo, en el caso de la Casa Duclós, se desconoce los motivos que llevaron a sus residentes a no colocar el toldo proyectado por Sert, aunque una posibilidad, en ese sentido, es que se conseguía mayor sombreado con los edificios circundantes.

Asimismo, se constata la importancia que puede tener el estudio pormenorizado de las características constructivas y proyectadas de los edificios patrimoniales para el establecimiento de medidas de ahorro energético. Específicamente en esta investigación, el análisis de la documentación gráfica y el posterior análisis energético reflejaron que las características proyectadas para la Casa Duclós presentan un mejor rendimiento energético que las que finalmente fueron ejecutadas conforme a las técnicas

constructivas tradicionales del lugar. Esto puede servir de punto de partida para el diseño de medidas de mejoras en este tipo de edificios. Además, se ha constatado las repercusiones propias del crecimiento urbanístico en edificios históricos. Aunque resulta obvio que los patrones de diseño de los edificios históricos no buscaban una eficiencia energética, también es cierto que los arquitectos y diseñadores pudieron perseguir unas condiciones de confort térmico adecuadas. Mediante la utilización de técnicas de soleamiento a través de los huecos, ellos pudieron efectivamente haber buscado aumentar las cargas térmicas en las épocas frías y mejorar las condiciones térmicas en el interior. Pese a esto, se ha constatado que el crecimiento urbanístico, sin consideraciones de integración de los edificios históricos existentes, puede afectar a su rendimiento energético. En suma, los resultados de este trabajo evidencian las afectaciones que, a nivel energético, el crecimiento urbanístico puede representar para esta clase de edificios, así como la necesidad de realizar este tipo de evaluaciones ante las posibles limitaciones en el carácter de rehabilitación que presentan estos inmuebles, al estar protegidos por instituciones públicas.

Para finalizar, se debe añadir que, más allá de los resultados de esta investigación, queda pendiente el análisis del rendimiento energético de estos edificios ante la evolución climática esperada a lo largo del siglo XXI. La realización de estudios con datos climáticos diseñados conforme a los escenarios de cambio climático previstos por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, permitiría establecer de manera más adecuada las medidas de ahorro energético necesarias para alcanzar la categoría de edificios de consumo energético casi nulo en estas construcciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akande, O. K., Odeleye, D., Coday, A. y JimenezBescos, C. (2016). Performance evaluation of operational energy use in refurbishment, reuse, and conservation of heritage buildings for optimum sustainability. *Frontiers of Architectural Research*, 5(3), 371–382. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.06.002>
- Baño Nieva, A. y Vigil-Escalera del Pozo, A. (2005). *Guía de construcción sostenible*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Beltrán-Fernández, M., García-Muñoz, J. y Dufrasnes, E. (2017). Análisis de las estrategias bioclimáticas empleadas por Frank Lloyd Wright en la Casa Jacobs I. *Informes de la Construcción*, 69(547). DOI: <https://doi.org/10.3989/ic.16.156>
- Bono Ruiz de la Herrán, L., García Vásquez, C., Pérez Escolano, V., Pico Valimaña, R. y Ortega, C. (1996). Veinte obras del Movimiento Moderno en Andalucía. *Boletín Del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 15, 133-152.
- De Rubeis, T., Nardi, I., Muttillio, M. y Paoletti, D. (2019). The restoration of severely damaged churches – Implications and opportunities on cultural heritage conservation, thermal comfort and energy efficiency. *Journal of Cultural Heritage*, 43, 186–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.008>
- Delgado Pérez, G., Pérez Escolano, V., Sebastián Bollaín, J. y Ramón Sierra, J. (1968). La obra olvidada: Casa Duclós en Sevilla, 1930. *Hogar y Arquitectura*, 76, 57–64.
- Ficco, G., Iannetta, F., Ianniello, E., D'Ambrosio Alfano, F. R. y Dell'Isola, M. (2015). U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings. *Energy and Buildings*, 104, 108–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.071>
- Iommi, M. (2019). Daylighting performances and visual comfort in Le Corbusier's architecture. The daylighting analysis of seven unrealized residential buildings. *Energy and Buildings*, 184, 242–263. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.014>
- Lidelöw, S., Örn, T., Luciani, A. y Rizzo, A. (2019). Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. *Sustainable Cities and Society*, 45(June), 231–242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.09.029>
- Lobaccaro, G., Croce, S., Lindkvist, C., Munari Probst, M. C., Scognamiglio, A., Dahlberg, J., Lundgren, M. y Wall, M. (2019). A cross-country perspective on solar energy in urban planning: Lessons learned from international case studies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108(March), 209–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.041>
- López Rivera, F. J. y Parra Bañón, J. J. (2012). *El proyecto de construcción de la imagen de la arquitectura moderna 1925-1939 Andalucía, Margaret Michaelis*. Universidad de Sevilla. Recuperado de http://fama.us.es/record=b2497190~S5*spi
- Lousame, M. (2011). La Casa Duclós de José Luis Sert en Sevilla en 1930. Dibujo y construcción. Dibujo y construcción. En *Actas del Séptimo Congreso Nacional de Historia de la Construcción: Santiago de Compostela, 26-29 octubre de 2011* (pp. 799-808). Instituto Juan de Herrera.
- Olona, J. (2015). *Avaluació de l'envolupant dels edificis del moviment modern a Barcelona. Subirana i Casa Bloc : recerques i influències dels paradigmes d'una nova materialitat energètica*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Paricio Casademunt, A. (1996). La innovación tecnológica de las cubiertas planas del GATCPAC. *Actas del Primer Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (Madrid 19–21 septiembre) (pp. 419-422). Recuperado de http://www.sedhc.es/biblioteca/actas/CNHC1_058.pdf
- Paricio Casademunt, A. (1998). La cámara ventilada como recurso constructivo durante el siglo XIX en Barcelona. En *II Congreso Nacional de Historia de la Construcción* (pp. 375–380). Recuperado de <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10595/HC%2048.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quesada, S. (2008). Helion, Melion, Tetragrámmaton. La Casa Duclós. Sevilla, España, 1929-1930. En Cohen, M., *Seven Avant-Garde Houses* (pp. 192-219). Bruselas: CIVA.
- Sert, J. L., Vázquez de Castro, A. e Íñiguez de Onzoño, J. L. (2009). *Edificio de viviendas en calle de Muntaner, Barcelona 1929-31*. GIVCO Collective Housing Research Group, Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de http://fama.us.es/record=b2148137~S5*spi
- Sugár, V., Talamon, A., Horkai, A. y Kita, M. (2020). Energy saving retrofit in a heritage district: The case of the Budapest. *Journal of Building Engineering*, 27, 1–20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2019.100982>