

05-009

ASSESSMENT MODEL OF ENERGY CONSUMPTION BY OPTIMIZING THE BUILDING SHAPE

Pacheco Torres, Rosalía; Ordóñez García, Javier; Martínez Montes, Germán
Universidad de Granada

The use of efficient design parameters in the initial stages of the life cycle of a building project helps to reduce the final energy demand. On the other hand, photovoltaic energy is the renewable resource that has recently undergone the most significant development. Because of its modular structure and its ability to be integrated in the building, photovoltaic energy is one of the renewable resources with the most promising domestic development. To assess the efficacy of this sort of actions, it is necessary the development of assessment tools adapted to sustainable design techniques and new ways of energy supply. In this research, it is proposed an assessment model of the energy demand reduction of residential buildings, by analyzing the building height and the integration of photovoltaic systems to supply a fraction of the energy demand. The results highlight the importance of those dimensional parameters that define optimal building shape from an energy-efficiency perspective. These results are interest to those agents that act on the design process of buildings and urban planning, with the target of reducing the energy consumption in the cities and for promoting the sustainable design of urban areas.

Keywords: *Building shape; Energy efficiency; Energy simulation; Building-integrated photovoltaics (BIPV)*

MODELO DE EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO MEDIANTE OPTIMIZACIÓN DE LA FORMA DEL EDIFICIO

La aplicación de parámetros de diseño eficientes durante las etapas iniciales del ciclo de vida de un edificio, ha mostrado ser una herramienta eficaz para reducir la demanda energética final. Por otra parte, la energía solar fotovoltaica ha sido la fuente de energía renovable que ha experimentado una mayor expansión recientemente. Al ser un sistema modular y fácilmente integrable, es una de las energías renovables que permite un mayor desarrollo a nivel doméstico. Para valorar la eficacia de este tipo de medidas de forma conjunta, es preciso el desarrollo de herramientas de evaluación adaptadas a técnicas de diseño sostenible y nuevas formas de suministro de energía. Se propone un modelo de evaluación de la reducción de la demanda energética final en edificios residenciales, mediante una optimización de la altura del edificio junto con la instalación de sistemas de producción de energía solar fotovoltaica en el propio inmueble. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la importancia de la forma del edificio desde el punto de vista de la eficiencia energética. Estos resultados resultan de interés para aquellos agentes intervinientes en el proceso de diseño de edificios y planificación urbanística, con el objetivo de promover el diseño sostenible en las zonas urbanas.

Palabras clave: *Forma del edificio; eficiencia energética; simulación energética; sistemas fotovoltaicos integrados;*

Correspondencia: Rosalía Pacheco Torres rosapt@ugr.es

1. Introducción

Los edificios representan más de un tercio del consumo energético mundial y se prevé una tasa de crecimiento mayor que el resto de sectores (U.S. Energy Information Administration, 2013). En España el sector residencial representa el 17% del consumo final total y el 25% de la demanda de energía eléctrica (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2011a), lo que supone un consumo final de 16.924 ktep (kilo tonelada equivalente de petróleo).

Debido al alto consumo energético del sector residencial, cualquier acción sobre este sector tendrá un impacto importante en el cumplimiento de los objetivos de reducción del consumo y las emisiones de carbono (López, et al., 2012).

El actual modelo de consumo energético de la Unión Europea, difiere del que debería de ser para cumplir con los objetivos fijados en la Estrategia Europea 2020 (Comisión Europea, 2010). En España, un tercio de los productos del petróleo y el gas que se consumen debe ser importado de otros países (Eurostat, 2014), generando una situación de dependencia energética del exterior que influye en los precios del mercado.

Para mitigar el impacto medioambiental del uso y explotación de los edificios, debe reducirse el consumo de energía. Son diversas las estrategias de eficiencia energética que se pueden llevar a cabo para disminuir el impacto ambiental del uso de los edificios residenciales, tales como la implantación de medidas pasivas o la mejora de la eficacia de los sistemas. Por otra parte, el uso de fuentes de energía renovables contribuye a mitigar el impacto ambiental derivado del consumo energético de los edificios.

Conocer las características del consumo de energía en los edificios permite implantar medidas para reducirlo y conseguir un uso más eficiente de los recursos. Los modelos de estimación de la demanda energética son herramientas que permiten calcular el consumo de edificios, tanto en fase de proyecto como en fase de uso. Permiten además, evaluar la eficacia de las estrategias para la reducción del consumo antes, durante y después de su implantación.

El modelo propuesto en esta investigación combina el diseño eficiente de los edificios, mediante un estudio de la altura ideal para reducir la demanda, con la integración de sistemas de producción de energía solar fotovoltaica.

2. Metodología.

2.1. Diseño de la muestra de estudio

La muestra de estudio de esta investigación, está formada por un conjunto de arquetipos que representan el sector residencial en España. En la metodología del arquetipo, se realiza una clasificación de los edificios existentes para desarrollar unos diseños representativos de las tipologías posibles y emplearlos como datos de entrada para construir el modelo energético. Este método es muy empleado para representar el consumo energético del stock residencial.

Para la definición de los modelos, se tomó como base de estudio los datos estadísticos recogidos por la Dirección General de Programación Económica de la Secretaría de Estado de Infraestructuras, dependiente del Ministerio de Fomento, y publicados en el informe "Construcción de edificios 2003-2007, licencias municipales de obras" (Ministerio de Fomento, 2008). En estos datos, se realiza una distinción entre los siguientes tipos de edificios residenciales: edificios de vivienda familiar; edificios de residencia colectiva permanente y edificios de residencia colectiva eventual. En la metodología presentada en esta comunicación, se estudió la tipología de vivienda residencial familiar, clasificada en

viviendas unifamiliares (asiladas y adosadas) y bloques plurifamiliares de viviendas. En la tabla 1 se muestra el promedio de superficie media útil por vivienda para la comunidad autónoma de Andalucía, calculado como la media ponderada del número de viviendas y la superficie media por tipología y provincia.

Tabla 1. Número de viviendas y superficie media útil por tipología de vivienda (m²).

Tipología	Tipología		
	Unifamiliar		Plurifamiliar
	Aislada	Adosada	
Superficie media útil [m ²]	151,5	124,5	73,3

Analizados estos datos, se decide que las tres tipologías de edificios residenciales que se van a considerar en nuestra investigación son:

- Edificio unifamiliar de vivienda aislada.
- Edificio unifamiliar de vivienda adosada.
- Edificio plurifamiliar de dos o más viviendas.

2.2. Construcción del modelo de zonas térmicas

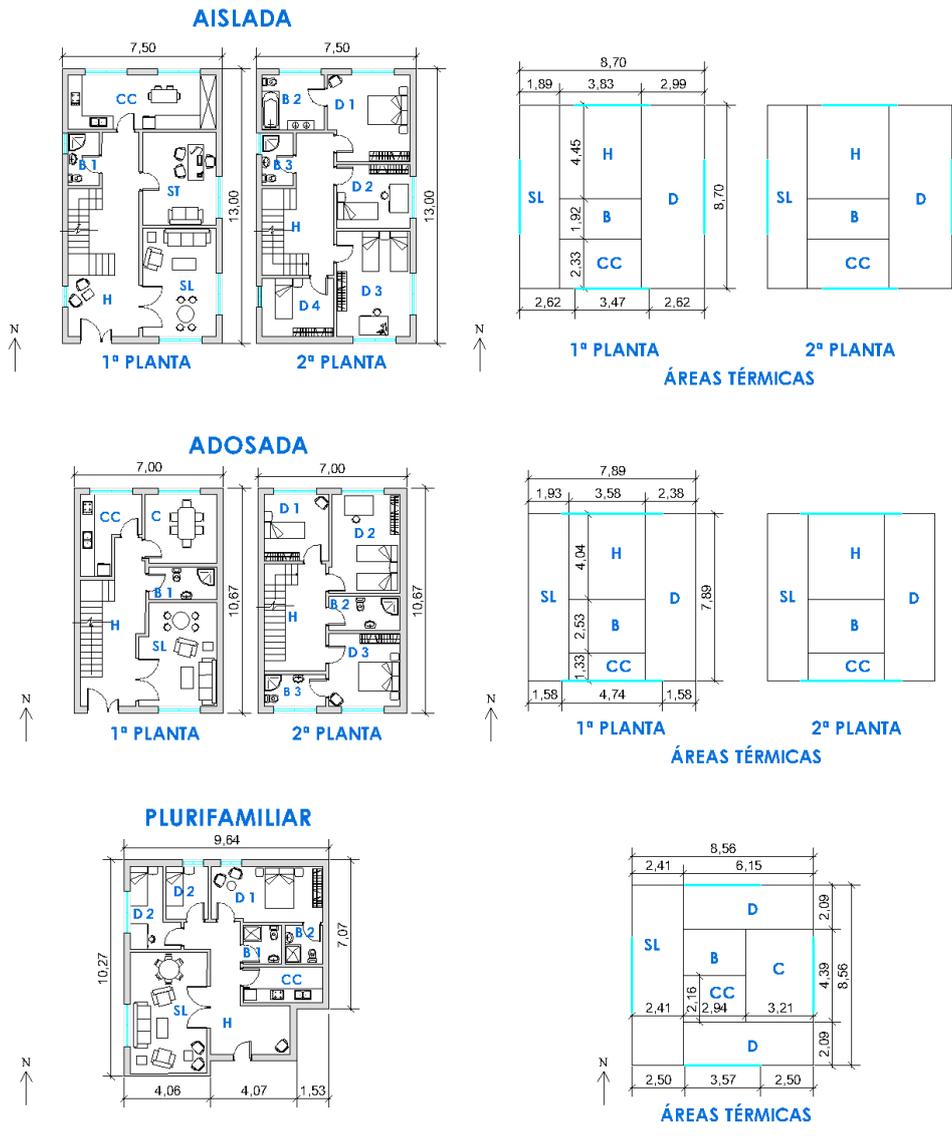
Calculados los metros cuadrados por tipología de vivienda (tabla 1), se obtiene más información acerca de la distribución interior de los espacios. De acuerdo con la referencia consultada (Ministerio de Fomento, 2008), el número medio de estancias en las viviendas unifamiliares aisladas es de 6 habitaciones y 3 baños. Para el caso de viviendas adosadas, es de 6 habitaciones y 2 baños y en las viviendas plurifamiliares es de 4 habitaciones y 2 baños. El informe de datos indica que la altura sobre rasante de las viviendas unifamiliares y aisladas es de dos plantas. Respecto a la tipología de edificio plurifamiliar de viviendas, la altura será el factor de estudio y por tanto su valor será considerado como variable.

Conocidas las superficies que caracterizan las tres tipologías de viviendas estudiadas (tabla 3.4.) y el número medio de estancias, se propone un modelo arquitectónico de distribución para cada vivienda (figura 1 izquierda). Los planos de distribución que definen este modelo han sido confeccionados siguiendo las pautas de distribución comúnmente empleadas y comprobando el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (Ministerio de Fomento, 2006).

Adoptando el criterio de Ordenes et al., y con el objetivo de reducir el tiempo de cálculo, el modelo arquitectónico de cada prototipo de vivienda ha sido traducido a un modelo de zonas térmicas (Ordenes, et al., 2007). Cada zona térmica engloba la superficie de aquellos espacios que tienen un mismo uso y similar nivel de ocupación, equipamiento y tipo y potencia de iluminación. La distribución inicial se simplifica en cuatro zonas térmicas: salón, dormitorio, cocina y baño.

Los modelos de zonas térmicas se representan a la derecha de la figura 1. La superficie total útil de cada modelo de zonas térmicas es la misma que en el modelo arquitectónico. En esta adaptación se han mantenido los mismos parámetros de temperatura interior, nivel de ocupación, potencia del equipamiento, nivel de ganancias internas, horarios de ocupación y uso que en el modelo arquitectónico.

Figura 1. Planos de distribución de los arquetipos de viviendas (izda.) y equivalentes en zonas térmicas (dcha.) Nota: D: dormitorio, SL: salón, B: baño, CC: cocina, H: hall, ST: estudio, C: comedor.



El área de cada zona térmica para las tres tipologías de vivienda estudiadas se detalla en la tabla 2. La superficie total útil de cada vivienda se corresponde con la obtenida en la tabla 1.

Tabla 2. Características geométricas de zonas térmicas por tipología de vivienda.

Tipología de vivienda	Zona térmica	Superficie útil [m ²]	Volumen [m ³]
Aislada	Salón	32,88	98,64
	Zona de paso	34,00	102,00
	Cocina	17,86	53,58
	Dormitorio	51,98	155,94
	Baño	14,78	44,34
	<i>Total</i>	<i>151,50</i>	<i>454,50</i>
Adosada	Salón	30,44	91,32
	Zona de paso	28,92	86,76
	Cocina	9,52	28,54
	Dormitorio	37,52	112,56
	Baño	18,12	54,34
	<i>Total</i>	<i>124,52</i>	<i>373,52</i>
Bloque plurifamiliar	Salón	20,67	62,01
	Zona de paso	14,67	44,01
	Cocina	6,36	19,08
	Dormitorio	25,07	75,21
	Baño	6,53	19,59
	<i>Total</i>	<i>73,30</i>	<i>219,90</i>

2.3. Sistemas constructivos, acabados, materiales y valores de transmisión térmica

Identificadas las tipologías de edificios residenciales representativos, se procedió a definir el resto de propiedades que caracterizarán los arquetipos.

Con el fin de desarrollar unos modelos acordes con las viviendas existentes en el parque residencial, se escogieron los acabados constructivos más comunes en las obras de edificación de planta nueva, según los datos estadísticos analizados. En la tabla 3 se recogen las características de los sistemas constructivos y los materiales que caracterizan los arquetipos del estudio.

Tabla 3. Propiedades térmicas de los sistemas constructivos y materiales empleados.

Elemento	U [W/m ² K]	Capa	Espesor [cm]
Losas de cimentación	0,21	Baldosa cerámica	3,0
		Mortero de cemento	2,0
		Lana mineral	5,0
		Hormigón armado	50,0
		Hormigón en masa	5,0
		Arena y grava	10,0
Forjado intermedio	2,30	Baldosa cerámica	3,0
		Mortero de cemento	2,0

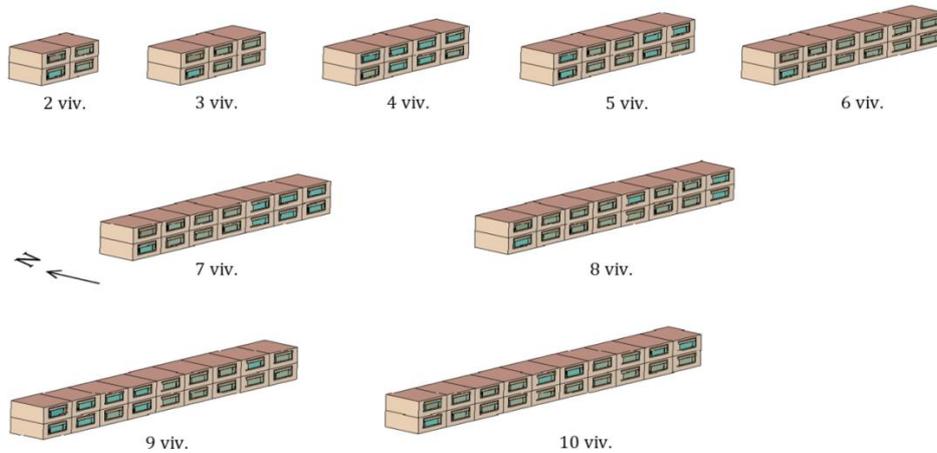
		Forjado unidireccional de hormigón armado	30,0
		Enlucido de yeso	1,5
Cubierta	0,37	Plaqueta cerámica	1,0
		Mortero de cemento	4,0
		Lámina asfáltica	1,0
		Lana mineral	8,0
		Lámina asfáltica	1,0
		Hormigón de arcilla expandida	10,0
		Forjado unidireccional	30,0
		Enlucido de yeso	1,5
Fachada	0,68	Mortero de cemento	1,5
		½ pie ladrillo perforado	11,5
		Poliestireno expandido	3,0
		Cámara de aire	2,0
		Tabicón de LH doble	7,0
		Enlucido de yeso	1,5
Partición interior	2,60	Enlucido de yeso	1,5
		Tabicón de LH doble	7,0
		Enlucido de yeso	1,5
Ventana	3,43	Acrilamiento doble con cámara de aire	0,6 + 0,6 + 0,4
		Carpintería de aluminio	-

Una vez caracterizados los arquetipos más representativos del sector residencial, se diseñó la muestra de estudio. Para ello, se definió la variable de estudio.

La presente investigación profundiza en el estudio de la relación entre la compacidad del edificio y la demanda energética del mismo para climas cálidos. Partiendo de las tres tipologías edificatorias, se diseñó una muestra de estudio formada por un total de 85 elementos en los que la compacidad es la variable de estudio. Para el caso de la tipología edificio de vivienda unifamiliar aislada, la muestra está compuesta por un solo elemento formado por un edificio que alberga una sola vivienda. Según los datos analizados de construcción de viviendas, en los edificios de viviendas unifamiliares aisladas la altura media es de dos plantas. Se diseña un edificio aislado de dos plantas de altura y cuya superficie útil y distribución de las zonas térmicas se corresponde con las de la figura 1.

Para el caso de la tipología de vivienda unifamiliar adosada, se diseña una muestra de estudio que alberga desde un caso formado por dos viviendas adosadas hasta un caso formado por diez viviendas dispuestas en hilera. La superficie útil de cada caso de estudio se corresponde con el resultado de multiplicar la superficie útil de la tipología de vivienda de la tabla 2 con el número de elementos considerados, que va desde dos hasta diez. La altura es de dos plantas y permanece constante en todos los casos de estudio. La figura 2 reproduce esquemáticamente los edificios de viviendas adosadas estudiados.

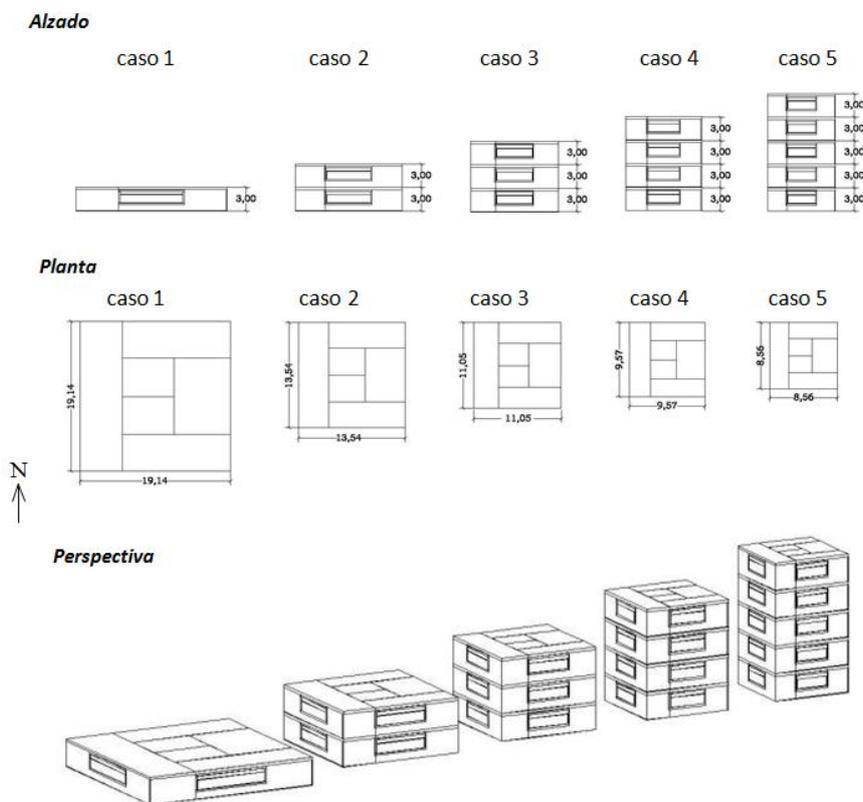
Figura 2. Definición de los grupos de viviendas adosadas estudiadas, desde 2 hasta 10 viviendas.



En el caso de la tipología de vivienda en bloque plurifamiliar, y con el fin de obtener unos resultados extrapolables a edificios de diferentes dimensiones, se estudiaron diferentes superficies totales de edificios distribuidas en bloques de altura variable.

Se definieron 5 casos de estudio en los que la superficie total útil se corresponde a la de 5, 10, 15, 20 y 25 viviendas. Cada caso de estudio está formado a su vez por un conjunto de edificios cuya altura va desde una planta hasta un número de plantas igual al número de viviendas que representa. De esta forma, cada edificio tiene un índice de compacidad diferente. A modo de ejemplo, en el caso de estudio de 5 viviendas en bloque, la superficie total útil es de 366.50 m² (ilustrado en la figura 3). Nótese que en cada edificio, la superficie total útil es la misma pero la altura varía. La superficie en planta del edificio también varía.

Figura 3. Casos de estudio de un edificio que alberga un total de cinco viviendas.



2.4. Simulación energética de los casos de estudio

Caracterizada la muestra de estudio y sus propiedades constructivas, se procede a diseñar el modelo de cálculo de la demanda energética. Este modelo se compone de dos fases diferenciadas. En la primera fase, se estima la demanda inicial mediante simulación dinámica. En la segunda fase, se procede al cálculo de la capacidad de autogeneración de energía mediante sistemas fotovoltaicos.

Para el cálculo de la demanda energética de los edificios que componen la muestra de estudio, se empleó el software de simulación energética de edificios EnergyPlus™ (U.S. Department of Energy, 2012). Este programa de análisis de la energía térmica y de simulación de carga realiza una simulación integrada, resolviendo de forma simultánea los cálculos con respecto al edificio y los materiales y sistemas que lo componen, en vez de realizar un cálculo secuencial como lo hacían los programas antecesores. EnergyPlus™ emplea datos climáticos horarios para el cálculo de las cargas térmicas y permite obtener el consumo debido a la calefacción y la refrigeración, así como la respuesta eléctrica del sistema. La integración de todos los aspectos involucrados en la simulación permite a los diseñadores evaluar directamente la respuesta dinámica del edificio. La validez de esta herramienta ha sido probada por numerosas investigaciones científicas (Cardinale, Rospi, & Stazi, 2010a), (Chan, 2011), (Cook & Sproul, 2011), (Lollini, Danza, & Meroni, 2010), (Cardinale, Rospi, & Stazi, 2010b), (Albatici, 2009), (Wang, Gwilliam, & Jones, 2009).

Los datos climáticos empleados se corresponden con la localización de la ciudad de Granada, clima mediterráneo cálido. Como datos de entrada, se han adoptado los valores reglamentados por la normativa española, el Código Técnico de la Edificación y otras

instrucciones. Cuando no ha sido posible usar valores reglados por estos documentos, se han empleado como valores de referencia los presentes en literatura científica publicada y que trata sobre simulación de edificios, como sería el caso del estudio de Tavares and Martins, la simulación desarrollada por Ordenes et al., y la investigación de Albatici (Tavares & Martins, 2007), (Ordenes et al., 2007), (Albatici, 2009).

Conocidas las condiciones de simulación, se procedió al cálculo de la energía demandada para cada elemento de la muestra de estudio.

2.5. Diseño del sistema fotovoltaico

Una vez realizada la simulación energética de los edificios, se procedió al estudio de la contribución de los sistemas de energía solar fotovoltaica. Estos sistemas ocupan el total de la superficie de cubierta y el 50% de la fachada sur de cada edificio estudiado.

En primer lugar se diseñó la instalación. El panel escogido es un panel fotovoltaico monocristalino común existente en el mercado. El método de diseño empleado para el cálculo de la energía generada en el sistema se basa en la metodología de Méndez y Cuervo (Méndez Muñiz & Cuervo García, 2011). El ángulo de inclinación β corresponde al ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal y su valor está entre 0° y 90° . En este caso se ha escogido la inclinación óptima para un periodo de diseño anual $\beta_{opt} = \Phi - 10$, siendo Φ la latitud del lugar de diseño (Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía, 2009). El ángulo de azimut α define el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. El valor del ángulo azimut se encuentra en el intervalo $[-90^\circ, 90^\circ]$. En este caso, se ha empleado un valor de $\alpha = 0$ para los cálculos. El porcentaje de pérdidas considerado es del 12%, que corresponde a la dispersión en los módulos (3%), al ensuciamiento e incidencia no perpendicular (4%) y al sombreado (5%).

3. Resultados

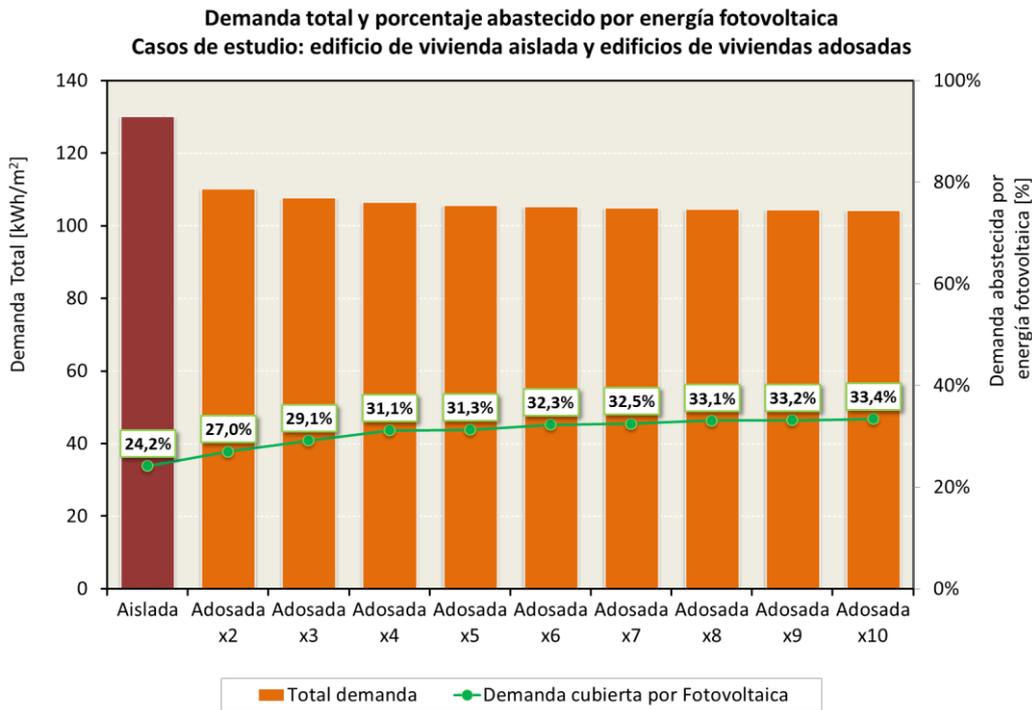
Conocidas las demandas energéticas y la energía fotovoltaica potencial para las configuraciones edificatorias, es necesario calcular el balance global de energía y las posibilidades reales de reducir y/o eliminar la dependencia energética de fuentes no renovables en edificios residenciales.

3.1. Tipologías de viviendas unifamiliares

Los resultados de la simulación energética muestran que, de las dos tipologías edificatorias de vivienda unifamiliares que se estudiaron, la demanda de la vivienda aislada es mayor que cualquiera de las configuraciones de viviendas adosadas. Se obtiene un mayor porcentaje de la demanda cubierta por la producción fotovoltaica en el caso de edificios de viviendas adosadas (figura 4).

A pesar de que el edificio de vivienda unifamiliar aislada tiene un mayor potencial de producción de energía solar fotovoltaica, debido a que la superficie de cubierta es mayor, la demanda energética por superficie útil también es más elevada. Por lo tanto, el resultado del balance es más perjudicial.

Figura 4. Porcentaje de demanda energética abastecido por energía fotovoltaica para los casos de estudio de edificio de vivienda aislada y edificio de viviendas adosadas.



El sistema de generación fotovoltaica ofrece unos resultados satisfactorios para ambas tipologías, ya que entre el 24% y el 33% de la demanda energética puede ser abastecida por los sistemas fotovoltaicos. La relación entre la superficie en planta y la altura de los arquetipos diseñados, permite un equilibrio satisfactorio entre la demanda energética y la superficie disponible para los sistemas fotovoltaicos.

3.2. Tipologías de viviendas plurifamiliares en bloque

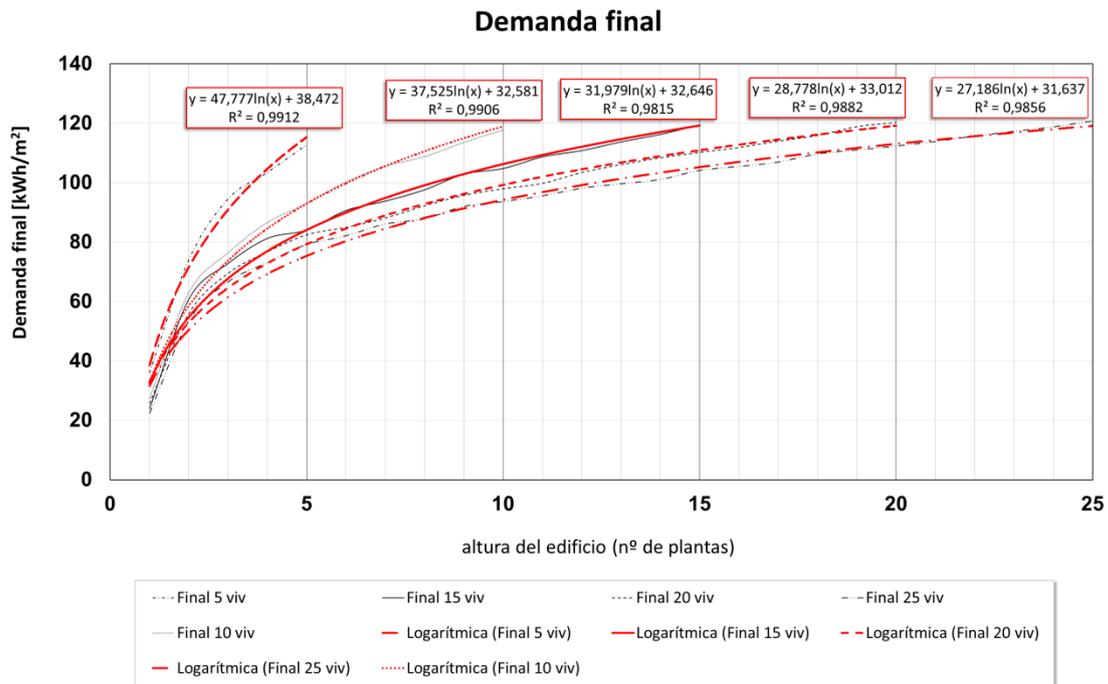
Tras realizar el balance energético entre la demanda energética inicial y la energía producida en el inmueble, se obtiene la demanda energética final en kWh/m². Esta demanda final puede ajustarse a una función logarítmica, que explica el consumo final como diferencia entre la demanda inicial y la energía producida por los paneles fotovoltaicos, sigue la siguiente ecuación logarítmica:

$$demanda\ final = A \cdot \ln(n) + B \quad (1)$$

donde n es el número de plantas, A y B dependen de la superficie útil del inmueble.

En la figura 5 se representan en color rojo las curvas y las ecuaciones logarítmicas obtenidas como resultado del balance entre la demanda energética y la producción fotovoltaica para cada caso de estudio.

Figura 5. Ecuaciones logarítmicas que representan la diferencia entre demanda y producción fotovoltaica para cada caso estudiado.



El resultado del balance energético entre la demanda del edificio y la energía fotovoltaica producida, indica que los edificios que permiten mayores ahorros energéticos de forma global son aquellos de una sola planta de altura porque ofrecen mayor superficie disponible para la instalación de paneles solares.

El análisis de las curvas permite deducir que para una misma altura del edificio, la demanda energética final varía según la superficie total útil del mismo. Así, por ejemplo, para un edificio de 366,50 m² (correspondiente a 5 viviendas) y 5 plantas de altura se estima una demanda final de 112,86 kWh/m², mientras que para un edificio de la misma altura pero superficie de 1.832,52 m² (correspondiente a 25 viviendas), la demanda final estimada es de 79,23 kWh/m², casi un 30 % menor.

4. Conclusiones

Distintos autores coinciden en que el mejor momento para establecer estrategias que tengan como objetivo reducir el consumo energético del edificio, durante su vida útil, es en la fase de diseño. Son numerosos los trabajos que analizan la relación entre la forma del edificio y la energía consumida en función de un coeficiente de forma que define las características geométricas del edificio.

Recientes investigaciones analizan el edificio en un contexto más amplio e incluyen no sólo como variable el consumo energético sino que tienen en cuenta otros factores como es el impacto ambiental del proceso constructivo. Siguiendo esta filosofía, en esta investigación se introduce como una nueva variable de estudio, la energía generada al instalar un sistema de placas fotovoltaicas en las superficies del edificio.

Bajo esas premisas, en este trabajo, se analizan y comparan tres tipologías de edificios, para uso residencial, concluyendo que el modelo de vivienda unifamiliar aislada es menos eficiente, para la misma superficie, que el modelo adosado. La tipología adosada permite obtener hasta un 25% de ahorro en la demanda energética final con respecto al modelo aislado.

En el caso de vivienda plurifamiliar en bloque, se puede cubrir parte de este consumo energético mediante la instalación de placas solares, si bien y para el caso de edificios de mucha altura, la cantidad de energía solar producida es muy pequeña con respecto a la demanda. En edificios con una altura de 3 ó 4 plantas se puede cubrir, para las condiciones climáticas del estudio, entre un 20 % y un 25 % de la demanda total máxima.

Esta investigación desarrolla una metodología para obtener la curva que representa la diferencia entre la energía que se consume en el edificio por los diferentes usos (climatización, iluminación, etc.), y la energía que se genera en la instalación fotovoltaica. La información obtenida puede ser útil para proyectistas, ingenieros y otros agentes implicados no sólo en diseño de edificios, sino también en la planificación de grandes zonas urbanas residenciales. Los resultados obtenidos permiten calcular los parámetros dimensionales que permiten diseñar el edificio para que, manteniendo constante la superficie construida, el balance de energía sea mínimo.

5. Referencias bibliográficas

- Albatici, R. (2009). Elements and Strategies for Sustainable Intervention in the Residential Building Sector: a Case Study. *Indoor and Built Environment*, 18(5), 447–453.
- Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010a). Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The “Sassi” district of Matera. *Building and Environment*, 45(1), 94–106.
- Cardinale, N., Rospi, G., & Stazi, A. (2010b). Energy and microclimatic performance of restored hypogeous buildings in south Italy: The “Sassi” district of Matera. *Building and Environment*, 45(1), 94–106.
- Chan, A. L. S. (2011). Developing a modified typical meteorological year weather file for Hong Kong taking into account the urban heat island effect. *Building and Environment*, 46(12), 2434–2441.
- Comisión Europea. Comunicacion de la Comisión Europea. EUROPA 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador (2010).
- Cook, P., & Sproul, A. (2011). Towards low-energy retail warehouse building. *Architectural Science Review*, 54(3), 206–214.
- Eurostat. (2014). Eurostat. Retrieved from <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>
- Instituto para la diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2009). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España INFORME FINAL*.

- Lollini, R., Danza, L., & Meroni, I. (2010). Energy efficiency of a dynamic glazing system. *Solar Energy*, 84(4), 526–537.
- López, M., Santiago, I., Bellido-Outeriño, F., Moreno-Muñoz, A., & Trillo-Montero, D. (2012). Active occupation profiles in the residential sector in Spain as an indicator of energy consumption. In *2012 IEEE Second International Conference on Consumer Electronics*. Berlin.
- Méndez Muñiz, J. M., & Cuervo García, R. (2011). *Energía solar fotovoltaica*. (F. Editorial, Ed.). Madrid: FC Editorial.
- Ministerio de Fomento. (2008). *Construcción de Edificios 2003-2007. Licencias Municipales de obra*.
- Ministerio de Fomento. (2006). *Código Técnico de la Edificación*.
- Ordenes, M., Marinoski, D. L., Braun, P., & Rüther, R. (2007). The impact of building-integrated photovoltaics on the energy demand of multi-family dwellings in Brazil. *Energy and Buildings*, 39(6), 629–642.
- Tavares, P. F. de A. F., & Martins, A. M. de O. G. (2007). Energy efficient building design using sensitivity analysis—A case study. *Energy and Buildings*, 39(1), 23–31.
- U.S. Department of Energy. (2012). EnergyPlus Energy Simulation Software TM. Retrieved from http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/?utm_source=EnergyPlus&utm_medium=redirect&utm_campaign=EnergyPlus+redirect+1
- U.S. Energy Information Administration. (2013). *International Energy Outlook 2013*.
- Wang, L., Gwilliam, J., & Jones, P. (2009). Case study of zero energy house design in UK. *Energy and Buildings*, 41(11), 1215–1222.

