

Olaia Eguiarte-Fernández, Pablo de Agustin-Camacho, Amaia Uriarte, Elena Usobiaga.
Transición energética hacia distritos sostenibles mediante nodos energéticos renovables,
Proceedings EESAP10 CICA3, 251-264, 2019.

10th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE
AND PLANNING, 3rd INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED CONSTRUCTION.

ISBN: 978-84-1319-086-0

Transición energética hacia distritos sostenibles mediante nodos energéticos renovables

Energy transition towards sustainable districts through renewable energy nodes

Olaia Eguiarte-Fernández^{1,2}, Pablo de Agustin-Camacho¹, Amaia Uriarte¹, Elena Usobiaga¹

ABSTRACT

Actualmente, los edificios son los causantes del 36% de las emisiones de CO₂ en Europa, lo que los convierte en uno de los objetivos principales de actuación local para el cumplimiento de los objetivos energéticos y medioambientales de la Unión Europea (UE). Para alcanzar la transición hacia barrios sostenibles y neutros en carbono es necesaria una regeneración urbana hacia los edificios de consumo casi nulo (nZEB) o incluso, siendo más ambiciosos, edificios energéticamente positivos.

Para conseguirlo, no solo se deben construir nuevos edificios para que cumplan estas exigencias, sino que el parque edificado actual debe ser rehabilitado con el fin de reducir su demanda energética, la cual deberá ser cubierta en gran medida por energías renovables. Sin embargo, la integración y gestión de algunas tecnologías, como la solar térmica y fotovoltaica, en los edificios presentan un reto debido a la intermitencia de las mismas, el desajuste entre las horas de generación y las de consumo en sectores como el residencial, o la disponibilidad de espacio para desplegarlas.

Por otro lado, si la generación renovable local es compartida por un conjunto de edificios, con perfiles de uso complementarios (públicos, comercial, residencial), se logra un mayor aprovechamiento y una gestión óptima de las curvas de demanda y generación. De esta manera si además de intervenir de manera individual en la rehabilitación de los edificios se plantean sistemas energéticos compartidos entre ellos, la eficiencia energética del entorno urbano en su conjunto aumenta y las emisiones de CO₂ se reducen significativamente.

El presente trabajo presenta una metodología para la mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad de un distrito mediante la rehabilitación, el fomento del autoconsumo y la implantación de un sistema térmico de distrito en un edificio público, el cual actúe como nodo energético, y respaldado por energías renovables, ofrezca un servicio energético a todos los edificios del distrito.

A partir del grado de complementariedad entre las demandas energéticas de los edificios públicos y residenciales y el potencial de despliegue de las fuentes renovables, se plantean diversos escenarios energéticos configurando sistemas de distrito ajustados a las exigencias normativas y a las condiciones y necesidades reales de los edificios públicos y residenciales circundantes. En cada escenario se estiman los balances energéticos anuales y se identifican las medidas y tecnologías (aeroterminia, geotermia, biomasa, solar) más convenientes.

Finalmente, dicha metodología es aplicada a un caso de estudio de un barrio de vivienda obrera construida en los años 1960-70 en el País Vasco. Los resultados muestran que en el caso de realizar una intervención individual mediante la rehabilitación de la envolvente junto a la explotación conjunta de energía solar fotovoltaica y térmica, se podrían alcanzar unos ahorros energéticos del 50% y una reducción en las emisiones del 60%. Por otra parte, realizando una intervención a nivel de distrito mediante la implantación de un nodo energético se lograría un ahorro energético de hasta un 55% y una reducción de las emisiones de hasta un 80%, en función de la tecnología escogida.

Key Words: regeneración urbana, transición energética, nodo energético, nZEB

(1) TECNALIA, Parque Tecnológico de Bizkaia, Astondo bidea, Edificio 700, 48160 Derio, +34 607322935, olaia.eguiarte@tecnalia.com

(2) UPV-EHU, Pz. Ing. Torres Quevedo s/n, 48013, Bilbao

1. Introducción

Actualmente, los edificios construidos hacen más de 50 años representan el 35% del parque edificado de la Unión Europea (UE), de los cuales casi el 75% son energéticamente ineficientes. Esto hace que el sector residencial sea responsable del 40% del consumo energético y del 36% de las emisiones de CO₂ en la UE [1].

Con el objetivo de reducir los consumos y las emisiones, la UE ha modificado las directivas sobre el rendimiento energético de los edificios (2010/31/UE) y sobre la eficiencia energética (2012/27/UE) como parte del paquete legislativo "Energía limpia para todos los europeos" [2]. Promoviendo así, políticas que ayuden a que el parque edificado esté altamente descarbonizado y sea eficiente energéticamente para el 2050.

Una de las estrategias más extendidas para conseguir los objetivos impuestos, es la construcción de edificios de consumo casi nulo (nZEB). Entendiendo como nZEB aquellos edificios con un nivel de eficiencia energética muy alto y que, además, la poca cantidad de energía requerida esté cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno [3].

Sin embargo, la integración y gestión de ciertas tecnologías renovables, como la solar térmica o fotovoltaica, suponen un problema a consecuencia de la desincronización entre las horas de generación y las de consumo en el sector residencial, o de la falta de disponibilidad de espacio para desplegarlas. Debido a esta desincronización, en muchas ocasiones es necesaria la instalación de grandes sistemas de almacenamiento, reduciendo el rendimiento del sistema y elevando la inversión.

Por el contrario, dicha estrategia se puede enfocar a nivel local o de distrito, donde se combinen edificios con demandas y distribuciones horarias distintas. Si bien la mejora de la eficiencia energética se debe seguir aplicando a nivel de edificio, compartir la generación renovable puede lograr un mayor aprovechamiento de la energía y una gestión óptima de las curvas de demanda y generación.

Además, si dentro del distrito se combinan edificios con diferentes perfiles de uso, como por ejemplo edificios residenciales y terciarios (edificios públicos o de oficinas, escuelas, etc.), el consumo total de energía se distribuye de manera más homogénea a lo largo del día, consiguiendo que el rendimiento de los sistemas energéticos mejore todavía más [4].

A consecuencia de todo lo mencionado anteriormente, junto al inicio de un proceso de transición hacia un nuevo paradigma caracterizado por la descarbonización, la descentralización de la generación, la electrificación de la economía, la participa-

1. Introduction

Currently, buildings over 50 years old represent the 35% of the building stock of the European Union (EU) almost the 75% are energy inefficient. This makes the residential sector responsible for around the 40% of the energy consumption, and the 36% of the CO₂ emissions in the EU [1].

In order to reduce both the energy consumption and the CO₂ emissions, the EU has amended the directives on the energy performance of buildings (2010/31/EU) and on the energy efficiency (2012/27/EU) as a part of the legislative package "Clean energy for all Europeans package" [2]. Both directives promote policies that will help to achieve highly energy efficient and a decarbonised building stock by 2050.

One of the most established strategy to achieve the imposed objectives is the construction of nearly-zero energy buildings (nZEBs). Understanding as nZEB a building with a very high energy performance and the low amount of energy required is covered, to a significant extent, by energy from renewable sources produced on-site or nearby [3].

However, the integration and management of certain renewable technologies, such as solar thermal or photovoltaic, could pose a problem due to the desynchronization between the hours of energy generation and energy consumption in the residential sector, or the lack of available area for the deployment of the required energy absorption systems. Because of the aforementioned problems, in many cases, it is necessary to install large storage systems, reducing the overall performance of the system and increasing the investment.

By contrast, the strategy introduced in this work is focused at a local or district level, where a set of buildings with different energy demands and distributions are combined. While improving energy efficiency should still be applied at building level, a greater energy efficiency and an optimal management of generation and demand curves could be achieved by sharing the renewable energy generation.

In addition, if buildings with different energy-consumption profiles are combined within the district, such as residential and tertiary buildings (public or office buildings, schools, etc.), the total energy consumption could be evenly distributed throughout the day, improving the energy performance of the system even more [4].

As a result of the mentioned previously, and together with the beginning of a transition process towards a new paradigm characterized by the decarbonisation, the decentralization of generation, the electrification of the economy, the more active participation of consumers, and a more sustainable use of resources [5], a greater role of the municipal administra-

ción más activa de los consumidores y un uso más sostenible de los recursos [5], se espera un mayor protagonismo de las administraciones municipales para el cumplimiento de los objetivos de energía y clima establecidos por la UE [6] ya que, al ajustarse mejor al contexto local, son más efectivas a la hora de encontrar soluciones lanzando iniciativas locales de planificación energética y regeneración urbana.

Bajo este contexto, este trabajo presenta una metodología para seleccionar y caracterizar un barrio, o distrito, donde se requiera una renovación energética completa que mejore la eficiencia energética de los edificios mediante la rehabilitación de la envolvente y el autoconsumo de fuentes renovables.

Después, se analizan diversos escenarios de generación energética distribuida a nivel de distrito, fomentando la implementación de sistemas centralizados renovables en un edificio que actúe como nodo energético. Mediante este proceso, se busca el sistema de generación que mejor se adapte a las necesidades y al potencial de despliegue de las fuentes renovables del barrio, estimando los balances energéticos anuales.

La metodología propuesta se aplica, como caso de estudio, a un barrio de vivienda obrera de los años 1960-70 localizado en el País Vasco.

El artículo está organizado de manera que la sección 2 muestra la metodología propuesta, en la sección 3 se presenta el caso de estudio donde se ha aplicado la metodología y en la sección 4 se explican los posibles escenarios de renovación del distrito y sus resultados. Finalmente, en la sección 5, se presentan las conclusiones sobre los mismos.

2. Metodología

La metodología consiste en cinco pasos consecutivos: Selección del distrito o conjunto de edificios, caracterización de la demanda y el potencial renovable, identificación de posibles escenarios, análisis dinámico y evaluación de los resultados para su posterior selección en base a los balances energéticos obtenidos.

El primer paso consiste en seleccionar el distrito donde se vaya a realizar la rehabilitación e implantación del sistema térmico. Para esta selección, se debe buscar el barrio que cumpla los siguientes criterios:

- **Periodo constructivo:** Los edificios deben ser anteriores a 1980, año que entró en vigor la primera normativa española que exigía la colocación de aislamiento térmico [7].
- **Consumo energético:** Los edificios deben tener una densidad de consumo de energía primaria elevada, considerando como densidad elevada la relativa a las etiquetas E, F y G de la certificación

tions is expected for the fulfilment of the energy and climate objectives established by the EU [6] since, by adjusting better to the local context, they are more effective when it comes to finding solutions.

In this context, this paper presents a methodology for selecting and characterizing a neighbourhood or district where a full energy renovation is required to improve the energy efficiency of the buildings by rehabilitating the envelope and the self-consumption of renewable sources.

Then, different scenarios of distributed energy generation at district level are analysed, promoting the implementation of centralized renewable energy absorption systems as energy nodes. Through this process, the generation system that best suits the needs and potential deployment of renewable energy sources is sought estimating the annual energy balances.

The methodology is then applied in a working-class housing neighbourhood from 1960-70 located in the Basque Country.

The remainder of this article is organized as follows, Section 2 describes the proposed methodology, Section 3 presents the case study where the methodology is applied, and Section 4 presents the possible scenarios of district renewal and its results. Finally, in Section 5, the conclusions are presented.

2. Methodology

The methodology consists of five consecutive steps: Selection of the district or set of buildings, characterization of the energy demand and renewable potential, identification of possible scenarios, dynamic analysis, and evaluation of the results for their subsequent selection based on the energy balances obtained.

The first step is to select the district where the rehabilitation and implementation of the thermal system will be performed. To this end, the selected district has to fulfil the following criteria:

- **Construction period:** Buildings must be prior to 1980, when the first Spanish legislation imposing the installation of thermal insulation was released [7].
- **Energy consumption:** Buildings must have a high density of primary energy consumption, considering as high density the relative to the E, F and G labels of the Spanish energy certification.
- **Solar potential:** The solar radiation in the buildings must be higher than the local average.
- **Roof availability:** The useful roof area for the installation of renewable technologies must be

energética.

- **Potencial solar:** Se debe identificar los edificios con una irradiación solar alta, se considera alta aquella que sea superior a la media local.
- **Disponibilidad de cubierta:** La cubierta útil para el despliegue de las renovables debe ser superior al 50%.

Cabe destacar que, a la hora de implementar esta metodología, los criterios de selección deben ser adaptados en base a las necesidades y características específicas de cada localidad.

Una vez seleccionado el distrito, se obtienen los valores necesarios para realizar el análisis. Por un lado, se necesitan las demandas energéticas pico y totales anuales, ambas con sus respectivas distribuciones horarias para caracterizar la demanda total del distrito. Estos valores pueden obtenerse, por ejemplo, mediante monitorización, simulación dinámica o valores estadísticos (encuestas, perfiles normativos...). De igual manera, se identifica la potencia solar máxima instalable, tanto térmica como fotovoltaica y la distribución anual de la radiación solar para establecer el potencial de generación renovable del distrito. Además, es necesario conocer la base normativa vigente, tanto a nivel estatal como municipal, para poder identificar los escenarios más adecuados.

Después, se plantean los posibles escenarios de renovación presentados en dos grupos: individuales y de distrito. Primero, se plantean alternativas de rehabilitación y autoconsumo renovable a nivel del edificio y, tras analizar los resultados, se selecciona la más adecuada. Posteriormente, en la alternativa individual seleccionada se añade un sistema centralizado que cubra las necesidades energéticas a nivel de distrito, como por ejemplo una red de distribución de calor. Dentro de dicho sistema centralizado, es necesario estudiar la implementación de distintas configuraciones con tecnologías renovables de generación distribuida.

Para finalizar, se realiza un análisis dinámico que permita analizar la complementariedad horaria de la demanda y la generación. Dicho análisis se realiza con el software EnergyPLAN [8], el cual permite realizar el análisis de manera sencilla añadiendo las características del distrito y obtener resultados de los balances energéticos, costes y emisiones de CO₂.

3. Caso de estudio

El distrito seleccionado para validar la metodología propuesta en el apartado anterior es un conjunto de edificios situado en la localidad de tamaño medio, en el País Vasco. La zona está compuesta por un total de 72 edificios residenciales, que albergan 884 viviendas con una superficie total de 72.221 m².

greater than 50%.

It should be noted that, when implementing this methodology, the selection criteria must be adapted to the needs and specific characteristics of each location.

Once the district is selected, the values needed to perform the analysis are obtained. On the one hand, annual energy peaks and total energy demands are needed, along with its respective hourly distribution to characterize the total demand of the district. These values can be obtained by means of monitoring, dynamic simulation or statistical values (surveys, regulatory profiles ...). Likewise, the maximum installable solar power, both thermal and photovoltaic, and the annual distribution of solar radiation are identified to establish the renewable generation potential of the district. On the other hand, it is also necessary to know the current regulations, at the state and municipal levels, for the identification of the most appropriate scenarios.

Then, the possible renewal scenarios are presented in two groups. First, renovation alternatives and building level renewable self-consumption are considered and, after analysing the results, the most appropriate one is selected. Subsequently, in the selected individual alternative, a centralized system is added to cover the energy needs of the whole district, such as a heat distribution network. Within this centralized system, the implementation of different configurations of renewable technologies of distributed generation is studied.

Finally, a dynamic analysis is carried out to analyse the complementarity of the energy demand and the generation. This analysis is done using the EnergyPLAN software [8], which, adding the characteristics of the district, enables to perform the analysis in a simple manner obtaining results of the energy balances, costs and CO₂ emissions.

3. Case study

The selected district for the validation of the methodology is located in a medium size town in the Basque Country. The area consists of a total of 72 residential buildings, with 884 dwellings and a total area of 72,221 m².

The great majority of the buildings were built between 1955 and 1965, although some of the selected buildings were constructed after 1980 (Fig. 1). The district meets the required criteria regarding the density of primary energy consumption, with an average of 163 kWh/m² year, and a maximum of 273 kWh/m² year in the most unfavourable building. In relation to the available solar irradiation, it has been estimated that its annual average is up to 1.000 kWh/m² in the whole district.



Figura 1.
Clasificación de los edificios
por año de construcción.
(Fuente: Elaboración propia)

La gran mayoría de los edificios fueron construidos entre los años 1955 y 1965, aunque algunos de los edificios seleccionados son posteriores a 1980 (Fig. 1). El distrito cumple con el criterio exigido en cuanto a la densidad del consumo de energía primaria, con una media de $163 \text{ kWh/m}^2\text{año}$, y un máximo de $273 \text{ kWh/m}^2\text{año}$ en el edificio más desfavorable. En cuanto a la irradiación solar disponible para el despliegue de las renovables, se ha estimado que su valor medio anual es de entorno a los 1.000 kWh/m^2 en todos los edificios.

Para finalizar con los criterios impuestos, es necesario destacar que solo dos de los edificios seleccionados tienen un porcentaje de superficie útil menor al 50% para el despliegue de renovables, con lo que el distrito cuenta con una cubierta útil de 12.000 m^2 aproximadamente.

Por otro lado, la demanda total anual del barrio, obtenida mediante la simulación dinámica de arquetipos creados para cada tipología y época constructiva, incluyendo los perfiles de uso y condiciones interiores establecidos por en el CTE, es de 8.690 MWh para cubrir las necesidades térmicas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), y de 2.750 MWh para cubrir la demanda eléctrica. Actualmente, ambas demandas se cubren de manera convencional: la térmica mediante calderas individuales de gas natural y la eléctrica mediante la red de distribución.

Cabe destacar que las demandas obtenidas en la simulación pueden no reflejar el consumo real de los edificios, pudiendo ser inferior en edificios de las características del caso de estudio.

A continuación, se muestran los consumos de gas y

To finish with the criteria proposed, it is necessary to emphasize that only two of the selected buildings have less useful area than 50% of the total available roof for the deployment of renewable technologies, with which the district has a total useful roof area of approximately 12.000 m^2 .

Additionally, the total annual demand of the district, obtained through the dynamic simulation of archetypes of each type and construction period of the buildings, including the activity profiles and the interior conditions established by the CTE, is 8.690 MWh to cover the thermal needs, heating and domestic hot water (DHW), and 2.750 MWh to cover the electricity demand. Currently, both thermal and electric demands are covered with conventional technologies: by individual boilers of natural gas and the electric distribution network, respectively.

It should be noted that the demands obtained through the simulation may not reflect the actual consumption of the buildings and could be lower in buildings with the same characteristics of the case study.

In Table 1, the consumptions of the natural gas and the electricity to cover the energy needs of the district are shown, including the total cost of the variable term of the energy bill (direct cost of the consumption with its associated taxes), primary energy consumption, and the associated CO_2 emissions.

Regarding the district's renewable energy potential, it has been estimated that, using the total available roof area of the district, the maximum installable power of photovoltaic solar energy is 1.8 MW , generating up to 1.5 GWh/year . Using the same surface

CALOR				
Demanda térmica [MWh]	Consumo gas [GWh]	Coste variable [€]	Consumo energía primaria [MWh]	Emisiones asociadas [toneladasCO ₂]
8690	9,45	628.000	9450	2190
ELECTRICIDAD				
Demanda eléctrica [MWh]	Consumo electricidad [GWh]	Coste variable [€]	Consumo energía primaria [MWh]	Emisiones asociadas [toneladasCO ₂]
2750	2,75	417.000	6510	910
TOTAL		1.045.000	15.960,00	3.100

Tabla 1.
Demanda, consumo y valores asociados al consumo del distrito.
(Fuente: Elaboración propia)

de electricidad necesarios para cubrir las necesidades energéticas del distrito, incluyendo el coste total del término variable de la factura energética (coste directo del consumo con sus impuestos asociados), el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ asociados a este consumo (Tabla 1).

En cuanto al potencial renovable del distrito se ha estimado que, aprovechando toda la superficie útil del conjunto de edificios, la potencia máxima instalable de energía solar fotovoltaica es de 1,8 MW con una generación de 1,5 GWh/año. Utilizando la misma superficie para paneles termo-solares, se ha estimado que podría aprovecharse un máximo de 2,5 GWh de la irradiación solar anual.

Finalmente, es necesario mencionar dentro de la normativa vigente, el Real Decreto-Ley 244/2019 [9] que habilita el autoconsumo fotovoltaico colectivo, reduce los trámites administrativos, y establece un mecanismo simplificado de compensación de la energía autoproducida y no consumida. Esto facilita la instalación de paneles fotovoltaicos en cubiertas de bloques de edificios, donde los vecinos puedan, por un lado, auto consumir la energía eléctrica y recibir una compensación por los posibles excedentes generados.

4. Escenarios seleccionados y resultados

Considerando lo mencionado en la sección 3, se presentan diferentes escenarios para la renovación del distrito. Primero, se plantean unas medidas a nivel de edificio, y tras analizar sus resultados, se plantean escenarios de renovación completa donde se combinan medidas individuales y de distrito. Dentro de estas medidas de distrito se plantean diferentes escenarios de nodo energético combinando varias tecnologías de generación distribuida.

4.1. Medidas individuales

En este caso de estudio, se ha decidido analizar:

- Rehabilitación de los edificios: Para mejorar la eficiencia energética de los edificios se rehabilita la envolvente de los edificios mediante la mejora del aislamiento cumpliendo las exigencias del Código Técnico de la Edificación (CTE) actual.

for solar thermal panels, it has been estimated that a maximum of 2.5 GWh of the annual solar irradiation could be used.

Finally, it is necessary to mention that the Royal Decree-Law 244/2019 [9] enables collective photovoltaic self-consumption, reduces administrative procedures, and establishes a simplified compensation mechanism for self-produced and non-consumed energy. This facilitates the installation of photovoltaic panels on roofs of building blocks, where neighbours can either self-consume electricity or receive a compensation for any surplus generated.

4. Selected scenarios and results

Considering the information given in Section 3, different scenarios are presented for the renovation of the district. First, some measures are proposed at building level and, after analysing their results, complete renewal scenarios are proposed where individual and district measures are combined. Within these district measures, different energy node scenarios that combine several distributed generation technologies are proposed.

4.1. Individual scenarios

In this case study, two individual scenarios are analysed:

- Rehabilitation of the buildings: To improve the energy efficiency of buildings, the building envelope is rehabilitated by improving the insulation complying with the requirements of the current Technical Building Code (CTE).
- Rehabilitation and deployment of renewable technologies: A complete renovation of the buildings with the rehabilitation of the envelope and the installation of solar thermal and photovoltaic collectors. Specifically, thermal collectors are installed to cover the 30% of the annual DHW demand (requirement of the CTE for the climatic zone of the case study), the rest of the surface is used to install photovoltaic panels for electric self-consumption.

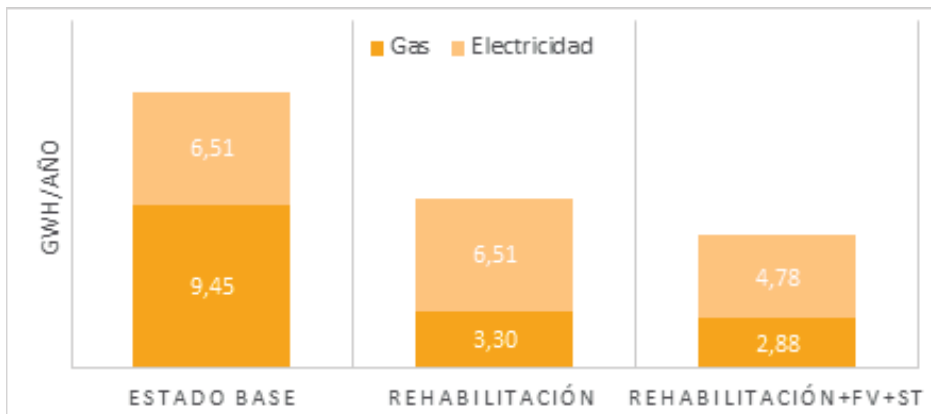


Figura 2. Resultados de los escenarios individuales. (Fuente: Elaboración propia)

- Rehabilitación y despliegue de tecnologías renovables: Renovación completa de los edificios rehabilitando la envolvente y con despliegue de colectores solares térmicos y fotovoltaicos. Concretamente, se instalan colectores térmicos para cubrir el 30% de la demanda anual de ACS (exigencia del CTE para la zona climática del caso de estudio), el resto de la superficie se aprovecha para instalar paneles fotovoltaicos para autoconsumo eléctrico.

4.2. Resultados de las medidas individuales

Los resultados se han obtenido mediante el análisis dinámico de los diferentes escenarios individuales que se comparan con el estado inicial del distrito para verificar la metodología propuesta en este trabajo.

A nivel individual, la Fig. 2 muestra la reducción del consumo de energía primaria tras la rehabilitación de la envolvente y tras la rehabilitación de la envolvente junto con la instalación de paneles fotovoltaicos y termo-solares en la cubierta útil.

Realizando una rehabilitación en el conjunto de edificios, se reduce el consumo de energía primaria asociado a cubrir las demandas térmicas en un 65% respecto al estado base, lo que supone una reducción del 39% en cuanto al consumo de energía primaria total del distrito. Aplicando la segunda, en cambio, se alcanza una reducción del consumo total de energía primaria del 52%, reduciendo, por un lado, un 27% la necesidad de electricidad gracias a los paneles fotovoltaicos, y por otro, un 65% y un 13% el consumo de gas natural con la rehabilitación y con los paneles termo-solares, respectivamente.

4.3. Intervenciones a nivel de distrito mediante nodo energético

Tras comparar las medidas individuales (sección 4.2), se plantean varios escenarios a nivel de distrito, con una misma medida individual como base. En el caso de estudio, se plantea una rehabilitación de la envolvente de los edificios que mejore la eficiencia energética, reduciendo la demanda de calefacción,

4.2. Results of the individual scenarios

The results obtained through the dynamic analysis of the different individual scenarios are compared with the initial state of the district to verify the improvements obtained by the methodology proposed in this work.

Fig. 2 shows the reduction of the primary energy consumption obtained by the simulation of the rehabilitation of the buildings and after the rehabilitation of the buildings along with the installation of photovoltaic and thermo-solar panels on the available roof.

By performing a rehabilitation in the group of buildings, the consumption of primary energy associated with the thermal energy demands is reduced by 65% with respect to the actual situation, which represents a reduction of 39% in terms of the total primary energy consumption of the district. Applying the complete renovation, a reduction of the total primary energy consumption of the 52% is achieved, reducing, on the one hand, the 27% of the electricity needs thanks to the photovoltaic panels, and on the other hand, the 65% and 13% of the natural gas consumption with the envelope rehabilitation and with the thermo-solar panels, respectively.

4.3. District level interventions through energy node

After comparing the individual scenarios (section 4.2), several district level scenarios are proposed, adding each one to the same individual measure. In the case study, the rehabilitation of the building envelope, to improve the energy efficiency, and the installation of photovoltaic panels, to distribute the power generation along the buildings, reducing the need to import power of the electric network, are installed. In addition, as a solution at the district level, a heat distribution network (Fig. 3) is added where, through an energy node, both heating and DHW demands of the neighbourhood are covered. The energy node is located on municipal land with a useful area of 1,721 m².



Figura 3.
Red de distribución de calor del caso de estudio. (Fuente: Elaboración propia)

y la instalación de paneles fotovoltaicos para distribuir la generación eléctrica a lo largo de los edificios reduciendo la necesidad de importar energía de la red eléctrica. Además, como solución a nivel de distrito, se añade una red de distribución de calor (Fig. 3), donde, mediante un nodo energético, se cubran las necesidades térmicas, tanto de calefacción como ACS, de todo el barrio. El nodo energético se sitúa en suelo municipal con una cubierta útil de 1.721 m².

Los sistemas de generación centralizada planteadas en este caso de estudio son los siguientes:

- ESCENARIO 1: Nodo energético de distrito basado en aerotermia con apoyo fotovoltaico. La demanda térmica se cubre mediante una bomba de calor aerotérmica, donde se aprovecha el calor a baja temperatura del aire exterior para calentar agua con ayuda de una compresión mecánica. Este nodo energético permite sustituir consumo de gas natural por consumo de electricidad, tanto para calefacción como para ACS. Además, se aprovecha la cubierta útil del nodo para instalar paneles fotovoltaicos y reducir la importación de electricidad de la red, cubriendo por autoconsumo parte del consumo de la bomba de calor.
- ESCENARIO 2: Nodo energético de distrito basado en geotermia con apoyo fotovoltaico. La demanda térmica se cubre mediante una bomba de calor geotérmica. Esta tecnología se basa en el mismo principio que la anterior pero el calor aprovechado proviene del subsuelo. Dicho calor, es más constante a lo largo del año lo que genera que el coeficiente de rendimiento sea mayor en este tipo de bombas de calor. Además, se aprovecha la cubierta útil del nodo para instalar paneles fotovoltaicos y reducir el consumo eléctrico de la red.
- ESCENARIO 3: Nodo energético de distrito basado en biomasa con apoyo termo-solar. La demanda se cubre con una caldera central de biomasa.

The centralized generation systems proposed in the case study are the following:

- SCENARIO 1: District energy node based on aerothermal with photovoltaic support. The thermal demand is covered by an aerothermal heat pump, where low temperature heat is extracted from the outdoor air to heat water by a mechanical compression. The energy node allows for the replacement of the natural gas consumption with electricity consumption, both for heating and for DHW demands. In addition, the useful area of the node is used to install photovoltaic panels and reduce the electricity imported from the network, covering part of the heat pump energy consumption.
- SCENARIO 2: District energy node based on geothermal energy with photovoltaic support. The thermal demand is covered by a geothermal heat pump. This technology is based on the same principle as the one selected for SCENARIO 1, but the used heat stems from the underground. This heat is more constant throughout the year, which means that the coefficient of performance (COP) is usually higher in this type of heat pumps. In addition, the useful area of the node is used to install photovoltaic panels and reduce the power consumption from the network.
- SCENARIO 3: District energy node based on biomass with thermo-solar support. The demand is covered by a central biomass boiler. In this scenario, natural gas is replaced by biomass consumption. Moreover, the useful area of the node is used to install solar-thermal panels and reduce the consumption of biomass.

As a summary, the (Fig. 4) shows the schemes of the actual state of the district (upper part of the figure), and after applying the interventions (lower part of the figure). At an individual level, the efficiency of the buildings is improved through the rehabilitation

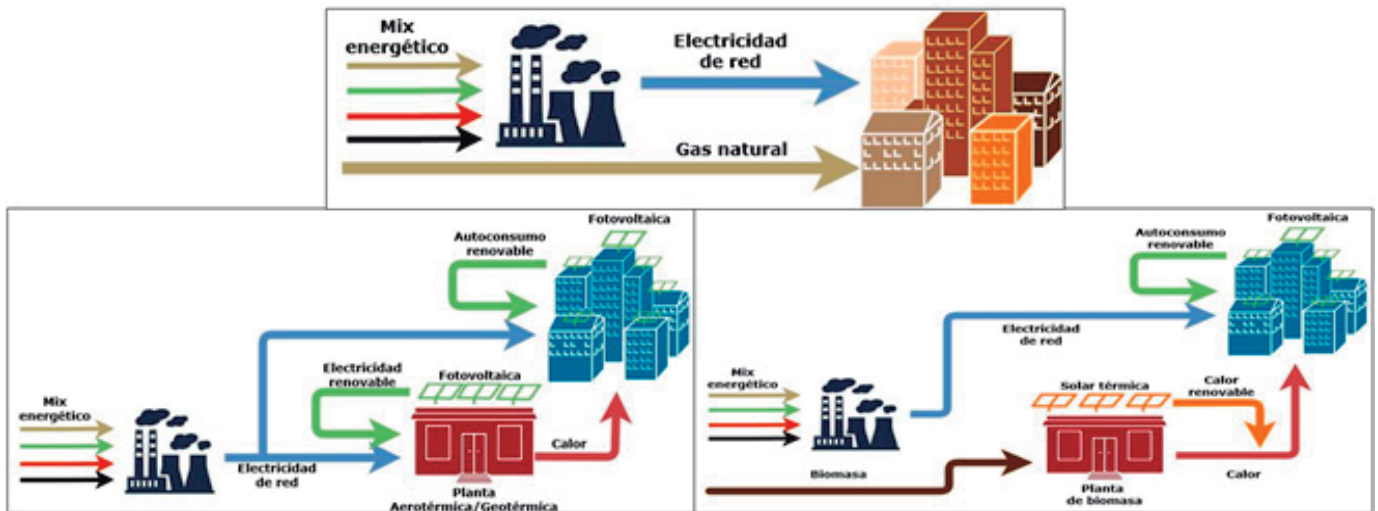


Figura 4. Esquemas del distrito antes (parte superior) y después de las intervenciones (parte inferior). (Fuente: Elaboración propia)

En este escenario, se reemplaza el gas natural por el consumo de biomasa. Además, se aprovecha la cubierta útil del nodo para instalar paneles térmicos y reducir el consumo de biomasa.

of the envelope and, photovoltaic solar panels are installed in the available roof to reduce the electricity consumption from the grid. At the district level, an energy node is added which covers the 100% of the neighbourhood’s heat demand, and its useful area is used to reduce the energy consumption needed to generate that heat.

A modo de resumen, la Fig. 4 muestra los esquemas que representan el estado actual del distrito (parte superior de la figura), y tras aplicar las intervenciones (parte inferior de la figura). A nivel individual, se mejora la eficiencia de los edificios mediante la rehabilitación de la envolvente y, además, se instalan paneles solares fotovoltaicos en toda la superficie útil para reducir la necesidad de consumo de red eléctrica. A nivel de distrito, el nodo energético cubre el 100% de la demanda de calor del barrio y se aprovecha su cubierta útil para reducir el consumo de energía necesario para generar ese calor.

4.4. Results of the district level scenarios

The results are obtained through the dynamic analysis of the different energy node scenarios and, then, compared with the initial state of the district to verify the methodology proposed in this work.

4.4 Resultados de los escenarios de distrito

Table 2 shows the electricity and heat demands after the rehabilitation of the district, and the capacity and energy contribution of each system in the different scenarios.

Los resultados se han obtenido mediante el análisis dinámico de los diferentes escenarios de nodo energético que se comparan con el estado inicial del distrito para verificar la metodología propuesta en este trabajo.

In the three scenarios, the same power of photovoltaic panels is installed, achieving 810 MWh/year of self-consumption, the 30% of the electricity demand, and generating 680 MWh of annual excess that are sold to the grid.

En la Tabla 2 se muestran las demandas tanto de electricidad, como de calor tras la simulación de la rehabilitación del barrio. Además, se muestra la capacidad y el aporte energético de cada sistema en los distintos escenarios propuestos.

It is necessary to mention that, to generate the same amount of heat (3810 MWh), the electrical capacity of the heat pumps is different due to the assumption of a COP=3 in the aerothermal scenario and a COP=5,1 in the geothermal. This means that more electricity is needed in the first scenario and, therefore, a greater amount of solar generation is for self-consumption, 160 MWh compared to 130 MWh.

En los tres escenarios se instala la misma potencia de paneles fotovoltaicos consiguiendo un autoconsumo 810 MWh anuales, un 30% de la demanda eléctrica, y generando 680 MWh de excedentes anuales que se venden a la red.

On the other hand, the heat generation required in the biomass boiler is lower because the solar-thermal panels provide direct heat to the district heating network. Specifically, the thermal input of the panels is 350 MWh/year, which represents the 10% of the total heat required.

Es necesario mencionar que para producir la misma cantidad de calor (3810 MWh), la capacidad eléctrica de las bombas de calor es distinta debido a que se ha asumido un COPestacional de 3 en el escenario con aerotermia y un COPestacional de 5,1 en el caso con

Finally, the results are presented in terms of primary

		Autoconsumo renovable		
		ESCENARIO 1,2,3		
Demanda eléctrica [MWh] 2750	Fotovoltaica	1786,73 kW		
	Autoconsumo FV [MWh/año]	Excedentes FV [MWh/año]		
	810	680		
		Red de calor		
		ESCENARIO 1		
Demanda de calor [MWh/año] 3240	Aeroterminia	1,5 MWe	Fotovoltaica	277,5 kW
	Generación térmica [MWh/año]		Autoconsumo [MWh/año]	Excedentes [MWh/año]
	3810		160	70
			ESCENARIO 2	
	Geotermia	0,9 MWe	Fotovoltaica	277,5 kW
	Generación térmica [MWh/año]		Autoconsumo [MWh/año]	Excedentes [MWh/año]
	3810		130	100
			ESCENARIO 3	
	Biomasa	4,5 MWt	Solar Térmica	1720,6 m ²
	Generación térmica [MWh/año]		Autoconsumo térmico [MWh/año]	Excedentes [MWh/año]
3460		350	100	

Tabla 2. Resultados de los escenarios de distrito. (Fuente: Elaboración propia)

geotermia. Esto hace que sea necesaria más electricidad en el primer escenario y, por lo tanto, que una cantidad mayor de la generación solar sea para consumo propio, 160 MWh frente a 130 MWh.

Por otro lado, la generación de calor necesaria en la caldera de biomasa es inferior gracias a que los paneles termo-solares aportan calor directo a la red. En concreto el aporte térmico de los paneles es de 350 MWh anuales, lo que supone un 10% del calor necesario en el barrio.

Finalmente, se presentan los resultados en cuanto a energía primaria, coste total variable y emisiones de CO₂. La Fig. 5 muestra los resultados obtenidos por vivienda en el escenario base, distrito con la intervención individual (rehabilitación y fotovoltaica), y en los tres escenarios de nodo energético con apoyo renovable.

El consumo de energía primaria se reduce entre un 48% y un 62% anuales por vivienda. Concretamente, el consumo de energía primaria asociada a la electricidad se reduce hasta los 5204 kWh y el consumo de energía primaria asociada al calor (calefacción y ACS) se reduce hasta los 1640 kWh, en el escenario más favorable, y 4253 kWh en el menos favorable. Cabe destacar, que el consumo de energía primaria necesaria aumenta un 16% en el escenario del sistema con caldera de biomasa en comparación con la simple rehabilitación de los edificios y manteniendo el sistema térmico convencional de gas natural, esto se debe a que el poder calorífico de la biomasa es inferior al del gas natural.

energy, total variable cost and CO₂ emissions. The figure shows the results obtained per dwelling in the base scenario, the district with the individual intervention (rehabilitation and photovoltaic) scenario, and in the three scenarios of energy node with renewable support.

The primary energy consumption is reduced between 48% and 62% per year in each dwelling. Specifically, the consumption of primary energy for the electricity is reduced 5204 kWh and the primary energy consumption of the heat (heating and DHW) is reduced 1640 kWh, in the most favourable scenario, and 4253 kWh in the least favourable. It should be noted that the consumption of primary energy increases by 16% in the scenario of the biomass boiler, compared with the simple rehabilitation of the buildings and maintaining the conventional thermal system of natural gas. This is because the calorific value of the biomass is lower than the calorific value of the natural gas.

On the one hand, as a result of the self-consumption and compensation of the solar photovoltaic energy surplus, electric bills are reduced by 30% per home and, on the other hand, the invoice associated with the thermal needs, both heating and DHW, is reduced by 65% and 85%, respectively. In the scenario of the complete intervention with geothermal and photovoltaic panels, a user could save up to 626€ per year from the variable term of the energy bills.

Finally, the CO₂ emissions could be drastically reduced by implementing the scenarios proposed in this

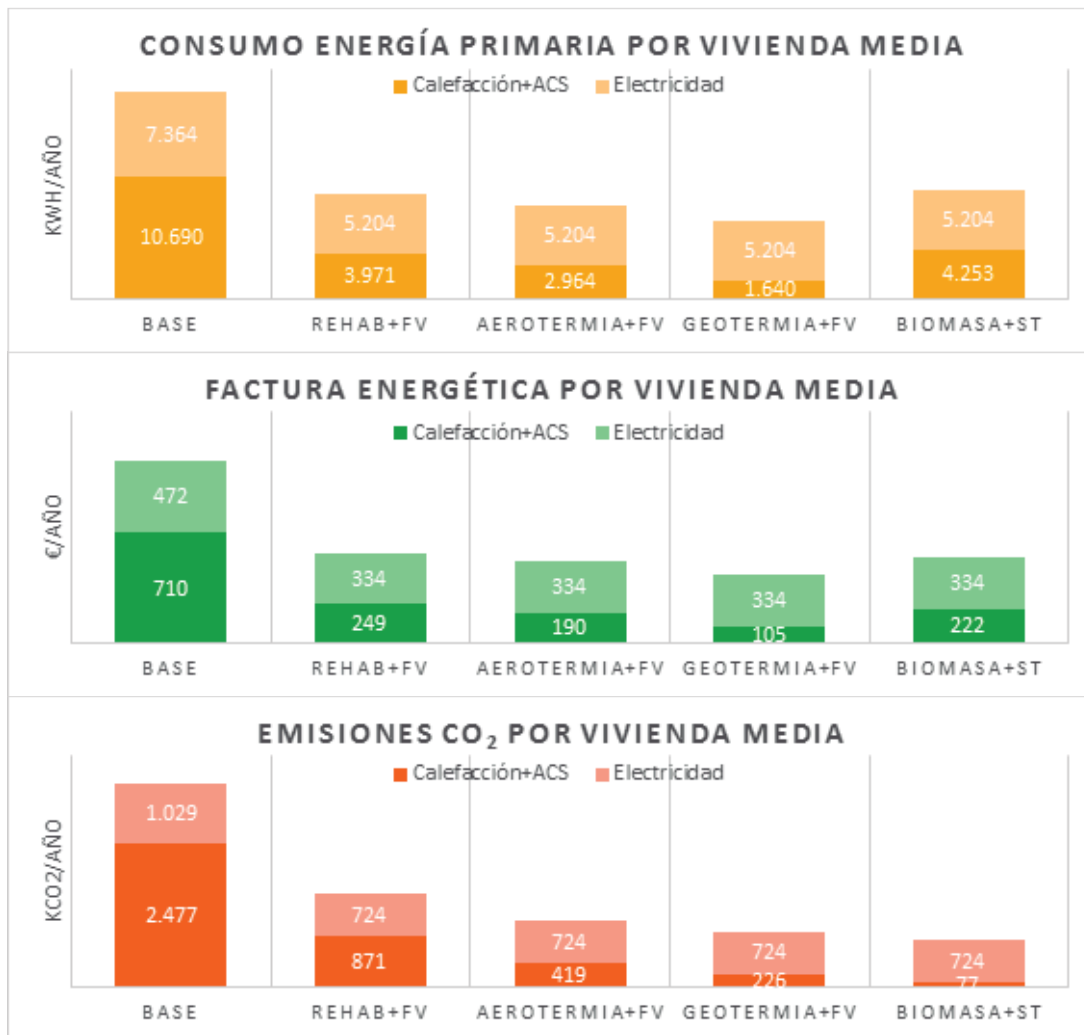


Figura 5. Comparación de los resultados de los escenarios por vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

Por un lado, como consecuencia del autoconsumo y la compensación de los excedentes de energía solar fotovoltaica, se reduce un 30% la factura eléctrica por vivienda y por otro, la factura asociada a las necesidades térmicas (calefacción y ACS) se reduce entre un 65% y un 85%. En el caso de realizar una intervención completa con geotermia y paneles fotovoltaicos, un usuario de una vivienda media del barrio de estudio podría ahorrarse hasta 626€ anuales del término variable de las facturas energéticas.

Finalmente, se puede apreciar que las emisiones de CO₂ se podrían reducir drásticamente implementando los escenarios de propuestos en este trabajo, donde en el mejor de los casos, en el último escenario (biomasa con apoyo termo-solar), las emisiones se reducen un 77% respecto a las emitidas actualmente. Es destacable, también, que, con una simple rehabilitación de la envolvente de los edificios, las emisiones de CO₂ se reducen en un 65%.

5. Conclusiones

La Unión Europea tiene como objetivo conseguir que el parque edificado esté altamente descarbonizado y sea eficiente energéticamente para el

paper, where in the best case, the scenario with the biomass boiler and thermo-solar support, emissions are reduced by 77% with respect to the current emissions. It is also remarkable that, with a simple rehabilitation of the building envelope, CO₂ emissions are reduced by 65%.

5. Conclusions

The European Union aims to ensure that the building stock is highly decarbonised and energy efficient by 2050. In this context, this paper presents a methodology for selecting and characterizing a district, where a complete energy renovation is required. Then, various scenarios where an energy node covers the 100% of the district's heat demand are proposed. Finally, the methodology is applied, as a case study, to a working-class housing district of the 60s-70s located in the Basque Country.

The results show that, by carrying out an intervention at an individual level, rehabilitating the building envelope together with the installation of solar photovoltaic and thermo-solar panels, the primary energy consumption could be reduced up to 52% compared to the current state. It should be noted that by

2050. Bajo este contexto, este trabajo presenta una metodología para seleccionar y caracterizar un distrito, donde se requiera una renovación energética completa, y se analizan diversos escenarios donde un nodo energético cubre el 100% de la demanda de calor del distrito. Finalmente, la metodología propuesta se aplica, como caso de estudio, a un barrio de vivienda obrera de los años 1960-70 localizado en el País Vasco.

Los resultados muestran que, realizando una intervención a nivel individual, mediante una rehabilitación de la envolvente del edificio junto con la instalación de paneles solares fotovoltaicos y termosolares, el consumo de energía primaria se reduce un 52% respecto al estado actual. Cabe destacar, que realizando una intervención donde simplemente se apliquen las exigencias del Código Técnico de la Edificación actual (rehabilitación de la envolvente y cubrir el 30% de la demanda de agua caliente sanitaria con energía termo-solar) la reducción del consumo de energía primaria sería inferior al 40%.

Mediante una intervención a nivel de distrito, los resultados muestran una mejora aún mayor, llegando a reducir el consumo de energía primaria un 62% en el mejor de los escenarios propuestos en este trabajo, donde se plantea, por un lado, la rehabilitación de la envolvente y la instalación de paneles fotovoltaicos en toda la cubierta útil de los edificios del distrito, y por otro, cubrir la demanda de calefacción y ACS con una red de calor mediante una bomba de calor geotérmica donde parte de la energía eléctrica necesaria se obtiene mediante paneles fotovoltaicos instalados in situ.

A su vez, se podrían reducir los costes variables de las facturas energéticas desde los 1182€ actuales hasta llegar a ser inferiores a 600€ en todos los escenarios planteados. Los resultados económicos, también muestran las ventajas de añadir una red de distribución de calor, ya que, el coste variable de la factura de calor podría reducirse en un 85%

Finalmente, se debe recalcar que, aunque, el escenario compuesto por una caldera de biomasa y paneles termo-solares es el escenario con mayor consumo de energía primaria, obtiene los mejores resultados en cuanto a las emisiones de CO₂, consiguiendo una reducción del 77%. Esto se debe a que, actualmente, la biomasa se considera un combustible prácticamente neutro en cuanto a emisiones CO₂.

Por otro lado, se prevé una penalización de la biomasa en cuanto a su impacto ambiental debido a que la combustión afecta a la calidad del aire a nivel local, además de las emisiones asociadas a su procesado, transporte, etc. Además, la tendencia europea es apostar por la electrificación de los servicios energéticos, porque al introducir un mayor porcentaje de fuentes renovables en el mix energético, las emisiones asociadas se reducen.

performing an intervention where the requirements of the Spanish Technical Code are applied (rehabilitation of the envelope and covering 30% of the DHW demand with thermo-solar energy) the reduction of primary energy consumption would be less than 40%.

Through an intervention at district level, the results show a greater improvement, leading to a 62% reduction of the primary energy consumption in the best of the scenarios proposed in this paper, where, on the one hand, the rehabilitation of the envelope and the installation of photovoltaic panels in the available roof are installed, and on the other hand, the 100% of the heating and DHW demand is covered with a heat network through a geothermal heat pump where part of the necessary electric energy is obtained from photovoltaic panels installed in situ.

Likewise, the variable costs of the energy bills could be reduced from the current 1182€/year to be less than 600€ in all the proposed scenarios. The economic results also show the advantages of adding a heat distribution network, since the variable cost of the heat bill could be reduced up to 85%

Finally, it should be emphasized that, although the scenario of the biomass boiler and solar thermal panels is the scenario with the highest primary energy consumption, the best results are achieved in terms of CO₂ emissions, with a reduction of the 77%. This is because, currently, biomass is considered a virtually neutral fuel in terms of CO₂ emissions.

However, a penalty for the biomass in terms of environmental impact is foreseen, since its combustion affects the air quality, and its emissions associated with its processing, transportation, etc. Furthermore, the European trend is to bet on the electrification of the energetic demand because, by introducing a greater percentage of renewable sources in the energy mix, the associated emissions are reduced.

In turn, if the electricity supply comes from 100% renewable energy, for example, by hiring a "green" energy retailer, the two scenarios that use heat pumps to cover the heat demand would have virtually zero CO₂ emissions.

Thanks to all the previously mentioned, it has been demonstrated that the methodology proposed in this work would help in the energy transition by identifying vulnerable districts and carrying out individual and district-level interventions improving the energy efficiency and distributing the energy generation with energy nodes and renewable sources.

Regarding future analyses, the authors recommend the identification of districts where, along with residential buildings, there are tertiary buildings with similar energy loads and complementary schedules, to achieve a more homogeneous consumption

A su vez, si el suministro eléctrico proviene al 100% de energía renovable, por ejemplo, contratando una comercializadora "verde", los dos escenarios que emplean bombas de calor para cubrir la demanda de calor tendrían unas emisiones de CO₂ prácticamente nulas.

Gracias a todo lo anterior, queda demostrado que la metodología propuesta en este trabajo ayudaría en la transición energética consiguiendo identificar distritos vulnerables y realizando intervenciones individuales y a nivel del distrito mediante la mejora de la eficiencia y la generación distribuida de fuentes renovables.

En cuanto a análisis futuros, los autores recomiendan identificar distritos donde, además de los edificios residenciales, existan edificios terciarios con cargas energéticas similares y horarios complementarios, para conseguir un consumo más constante a lo largo del día, mejorando el rendimiento de los sistemas.

Por último, el acercamiento planteado en este trabajo permitiría a las administraciones públicas impulsar una regeneración urbana sostenible, a través de intervenciones conjuntas que beneficien a edificios residenciales y públicos, donde la administración pública podría participar y/o facilitar la inversión económica, posibilitando a las familias en el distrito el acceso a servicios energéticos económicos y sostenibles.

throughout the day, improving the performance of the systems.

Finally, the approach proposed in the present paper would enable public authorities to boost sustainable urban regeneration, through joint works that would benefit both residential and public buildings, where the public authorities could participate and/or facilitate the economic investment, providing to the families affordable and sustainable energy services.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] «Energy performance of buildings», Energy - European Commission, 2014. <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings>.
- [2] Directorate-General for Energy, Clean energy for all Europeans. 2019.
- [3] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. p. 23.
- [4] H. Ren, J. Liu, y Q. Wu, «Effects of Building Mix on Energy Performances of the District Heating and Cooling System», Energy Procedia, vol. 143, pp. 430-435, 2017.
- [5] Jefatura del Estado, Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, vol. 242. p. 38.
- [6] S. Kelly, «The Local Dimension of Energy», Faculty of Economics, Working Paper, 2011.
- [7] A. Gavilán Casal, «Análisis comparativo de la eficiencia energética en edificios existentes con diferentes herramientas de simulación energética», Universidad de Valladolid, 2015.
- [8] «EnergyPLAN», EnergyPLAN. <https://www.energyplan.eu/>.
- [9] Ministerio para la Transición Ecológica, Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. p. 46.