

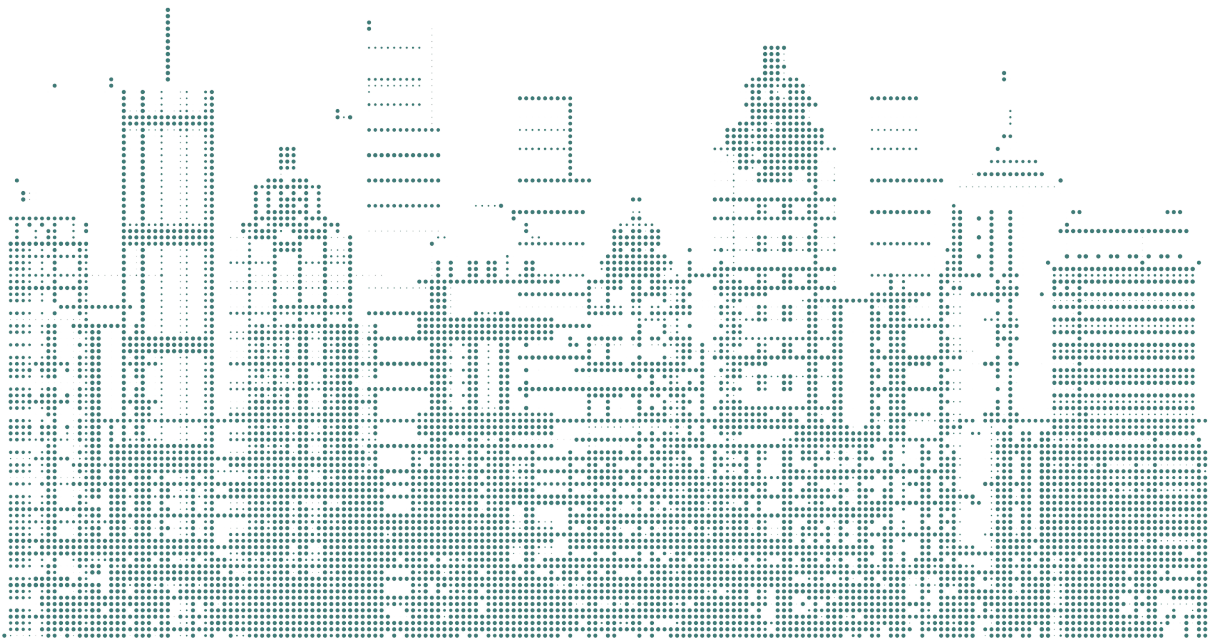


EUROPEAN CONGRESS 2019
11-12 SEPTEMBER · VITORIA-GASTEIZ

Transition

10th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND
SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE AND PLANNING

3rd INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED CONSTRUCTION



eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

CIP. Biblioteca Universitaria

Congreso Europeo sobre la Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (10º. 2019. Vitoria-Gasteiz)

Transition [Recurso electrónico]: 10º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo – 3º Congreso Internacional de Construcción Avanzada = 10th European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning – 3rd International Congress of Advanced Construction : Vitoria-Gasteiz 11-12 Septiembre 2019 / [editor] Rufino J. Hernández Minguillón. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2019. – 1 recurso en línea : PDF (296 p.)

Congreso organizado por el grupo de investigación Caviar, Calidad de Vida en la Arquitectura de la UPV/EHU y el clúster de construcción ERAIKUNE, en el marco de los XXXVIII Cursos de Verano.

Texto bilingüe en español e inglés.

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN. 978-84-1319-086-0

1. Arquitectura sostenible. 2. Arquitectura y economías de energía. I. Hernández Minguillón, Rufino J., ed.
II. Congreso Internacional de Construcción Avanzada (3º. 2019. Vitoria-Gasteiz)

(0.034)620.9:720(064)

EDITOR

Rufino J. Hernández Minguillón

DISEÑO

Matxalen Etxebarria Mallea

Elena Moreno Jordana

EDITA

© Universidad del País Vasco/Euskal

Herriko Unibertsitatea, Servicio

Editorial/Argitalpen Zerbitzua, 2019.

ISBN: 978-84-1319-086-0

**10º CONGRESO EUROPEO SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN
ARQUITECTURA Y URBANISMO / 3º CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN
AVANZADA**

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

Transition

RUFINO J. HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

Vitoria-Gasteiz, 11 - 12 Septiembre 2019

COMITÉ ORGANIZADOR / ORGANISING COMMITTEE

El Congreso está organizado por Cursos de Verano de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, el Grupo de Investigación CAVIAR Calidad de Vida la Arquitectura de la UPV/EHU y el clúster de construcción ERAIKUNE.

Rufino J. Hernández Minguillón (Presidente, CAVIAR)
Juan Antonio Barrenechea Bachiller, Matxalen Etxebarria Mallea, Milagros Álvarez Sanz, Silvia Pérez Bezos, María Luisa Rodríguez Pertuz (CAVIAR)
Jon Ansoleaga Ugarte, Óscar Íñiguez Heras, Maialen Oregi Arbide (ERAIKUNE)

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Fernando Bajo Martínez de Murguía
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Javier Cenicacelaya Marijuan
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Xabier Barrutieta Basurko
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Olatz Irulegi Garmendia
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

José María P. Sala Lizarraga
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Xabat Oregi Isasi
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Íñigo Rodríguez Vidal
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Gustavo Vargas Silva
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Rufino Javier Hernández Minguillón
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Víctor Echarri Iribarren
Universidad de Alicante

Helena Granados Menéndez
ARC3 Arquitectura

Ángela Matesanz Parellada
Tecnalia Research & Innovation

Carolina García Madruga
Tecnalia Research & Innovation

Judith Ryser
International Society of City and Regional Planners (London)

Rafael Córdoba Hernández
Universidad Politécnica de Madrid

Sabina Scarpellini
Universidad de Zaragoza

11 COMUNICACIONES /PAPERS

- 13** Valoración y utilidad de los índices PMV, PET y UTCI en la evaluación del confort térmico en parques urbanos: un caso de estudio
Valuation and use of PMV, PET and UTCI in the evaluation of thermal comfort in urban parks: a case study
VÍCTOR JOSÉ DEL CAMPO-DÍAZ
-

- 29** El potencial de la rehabilitación energética a escala de distrito para la reducción de emisiones de CO₂ y fomentar la regeneración urbana. IEA-EBC Annex 75
Potential of building renovation at district level for reducing CO₂ emissions and fostering urban regeneration. IEA-EBC ANNEX 75
JON TERÉS-ZUBIAGA
-

- 43** Integración de la perspectiva de ciclo de vida en los sistemas de gestión medioambiental del sector de la construcción
Integration of life cycle thinking in the environmental management systems of the building sector
NAIARA URIARTE-GALLASTEGI
-

- 55** Potencial de Reducción del Impacto Ambiental de Sistemas de Cerramientos para Rehabilitación de Edificio Residencial con Análisis de Ciclo de Vida
Environmental Impact Reduction Potential in Enclosure Systems for Residential Building Rehabilitation through Life-Cycle Assessment
MILAGROS ÁLVAREZ-SANZ
-

- 67** Desarrollo de un Modelo Simple para la Estimación de la Reducción de la Demanda de Calefacción Debida a Acciones de Rehabilitación
Development of a Simple Model for the Estimation of the Space Heating Demand Reduction due to Retrofitting Actions
MILAGROS ÁLVAREZ-SANZ
-

- 79** DREEAM - Reformas de viviendas a gran escala para lograr máximo ahorro energético
DREEAM - Large-scale housing reforms to achieve maximum energy savings
MARÍA I. CUBILLO-SAGÜES
-

- 91** Consumo energético y brecha de confort en viviendas sociales de Madrid, a través de información de contadores inteligentes y encuestas
Energy consumption and comfort gap in social housing in Madrid, through smart meters and surveys information
FERNANDO MARTÍN-CONSUEGRA
-

- 103** Ratio de degradación de los dispositivos fotovoltaicos
Degradation Rate of Photovoltaic Devices
DENYS IODA DÍAZ-GARRIDO
-

- 113** Comparación entre consumo energético teórico y real en viviendas sociales
A comparison between predicted and measured energy use in social housing
PABLO HERNÁNDEZ-DE LA CRUZ
-

-
- 129** **Análisis y comparación sobre los sellos sostenibles adquiridos en la Torre Iberdrola y en las Torres de Bolueta**
Analysis and comparison of the sustainable seals acquired in the Iberdrola Tower and in the Bolueta Towers
JAVIER BARRIOS-RODRÍGUEZ
-
- 143** **URBIM: ciudades digitales. BIM en intervenciones y análisis urbanos**
URBIM: digital cities. BIM in urban interventions
MARÍA PASCUAL-SÁEZ
-
- 155** **Sensores de captura de realidad aplicados a la construcción 4.0 de SmartCities: ejemplo de la ciudad de Ayacucho**
Reality capture sensors applied to construction 4.0 of SmartCities: example of city of Ayacucho
DANIEL PABLOS-ANDRÉS
-
- 167** **Construcción de prototipo de invernadero para precalentar el aire de ventilación y obtener ahorros energéticos en los edificios**
Construction of greenhouse prototype to preheat the ventilation air and obtain energy savings in buildings
JOSEBA GAINZA-BARRENCUA
-
- 179** **Experiencias obtenidas a partir de monitorización energética de viviendas rehabilitadas en el País Vasco**
Experience obtained from energy monitoring of renovated housing in the Basque Country
IMANOL RUIZ DE VERGARA-RUIZ DE AZUA
-
- 191** **Bio Alai, el desarrollo de un local sostenible de consumo casi cero de 632m² shop for an ecologic supermarket in Vitoria-Gasteiz**
Bio Alai, the development of a NZEB 632m² sustainable shop for an ecologic supermarket in Vitoria-Gasteiz
IKER GÓMEZ-IBORRA
-
- 209** **Rehabilitación y eficiencia energética del edificio "Lagos Park" en Madrid**
Rehabilitation and energy efficiency of "Lagos Park" building in Madrid
MARÍA EUGENIA MACIÁ-TORREGROSA
-
- 223** **Gestión energética colaborativa en edificios: aplicación de técnicas de participación del usuario en un edificio singular de Madrid**
Collaborative energy management in buildings: application of user-participation techniques on a singular building in Madrid
TERESA CUERDO-VILCHES
-
- 237** **El confort del usuario en el lugar de trabajo: diseño de App para el edificio IETcc-CSIC (Madrid)**
Users' comfort in their workplace: design of App for the IETcc-CSIC building (Madrid)
TERESA CUERDO-VILCHES
-
- 251** **Transición energética hacia distritos sostenibles mediante nodos energéticos renovables**
Energy transition towards sustainable districts through renewable energy nodes
OLAIA EGUIARTE-FERNÁNDEZ
-
- 265** **SESIÓN PÓSTER /POSTER SESSION**
-
- 269** **PATROCINADORES /SPONSORS**
-

PATROCINADOR INSTITUCIONAL

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

INGURUMEN, LURRALDE PLANGINTZA
ETA ETXEBIZITZA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA

PATROCINADORES PLATINO



PATROCINADORES ORO



INSTITUCIONES



COLABORADOR



Presentación

Este libro recoge las comunicaciones seleccionadas para el 10º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura / 3er Congreso de Construcción Avanzada, organizado por el grupo de investigación Calidad de Vida en Arquitectura de la Universidad del País Vasco/ Euskal Herriko Unibertsitatea en colaboración con el Eraikune, Clúster de la Construcción de Euskadi. El congreso, que se celebra en el marco de los XXXVIII Cursos de Verano de la UPV/EHU, aborda en esta edición el tema de la "TRANSICIÓN". Alrededor de este tema general se desarrollan 8 ponencias magistrales, además de 20 comunicaciones seleccionadas por el comité científico que presentarán trabajos de investigaciones actuales en las sesiones orales y póster.

El Congreso pretende aprovechar la sinergia producida por la intervención de ponentes y participantes con perfiles diversos para analizar y proponer respuestas a los problemas actuales con profundidad y especificidad a partir de un marco general integrado. El objetivo paralelo del congreso es fortalecer las líneas de investigación en eficiencia energética y sostenibilidad y de construcción avanzada de los grupos de investigación y formación de la UPV/ EHU comprometidos con esta propuesta, con objeto de colaborar en el reforzamiento de la I+D+i en su ámbito de conocimiento y apoyar la apuesta específica de los Gobiernos Central y Vasco, así como de otras instituciones nacionales e internacionales respecto a las actividades de I+D+i en las materias relacionadas con el cambio climático, la eficiencia energética, la sostenibilidad ambiental en un entorno de competitividad equilibrado. Durante el congreso se hará entrega de la sexta edición del Premio EESAP a las dos mejores comunicaciones orales del Congreso con el objetivo de fomentar y recompensar las presentaciones de calidad. Se entregarán al autor o autores de las comunicaciones que, según la valoración por pares realizada el Comité científico, sean merecedoras de tales galardones. Finalmente queremos agradecer a las instituciones y empresas que colaboran con esta décima edición del Congreso: Vicerrectorado del Campus de Gipuzkoa, Vicerrectorado de Investigación, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Departamento de Arquitectura, Gobierno Vasco, Kutxabank, y demás instituciones y empresas patrocinadoras.

Comité organizador

Introduction

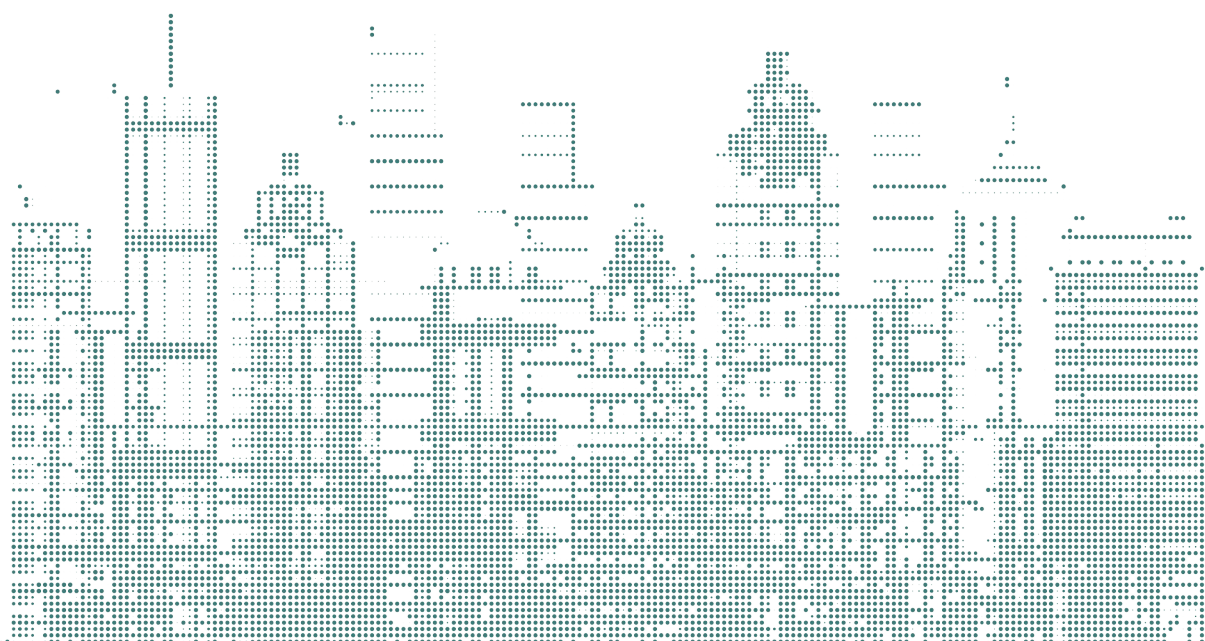
This book collects the papers selected for the 10th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture / 3rd Congress of Advanced Construction, organized by the research group Quality of Life in Architecture of the University of the Basque Country / Euskal Herriko Unibertsitatea in collaboration with Eraikune, Cluster of Construction of Euskadi. The congress, held in the framework of the XXXVIII Summer Courses of the UPV / EHU, addresses in this edition the theme of "TRANSITION". Around this general topic 8 lectures are developed, in addition to 20 communications selected by the scientific committee, which will present current research works through oral sessions and posters.

The Congress aims to take advantage of the synergy produced by the intervention of speakers and participants with diverse profiles to analyze and propose answers to current problems with depth and specificity from an integrated general framework. The parallel objective of the conference is to strengthen the lines of research on energy efficiency and sustainability and advanced construction of the research and training groups of the UPV / EHU committed to this proposal, in order to collaborate in the reinforcement of R & D & I in its field of knowledge and to support the specific commitment of the Central and Basque Governments, as well as other national and international institutions regarding R & D & I activities in subjects related to climate change, energy efficiency and Environmental sustainability in a balanced competitive environment. During the congress, the sixth edition of the EESAP Award will be presented for the two best contributions to the Congress, which aim to encourage and reward quality presentations. They will be delivered to the author or authors of the communications who, according to the peer assessment made by the Scientific Committee, are deserving of such awards. Lastly, we would like to thank the institutions and firms that collaborate with this tenth edition of the Congress: Vice-Rectorate of the Gipuzkoa Campus, Vice-Rectorate of Research, Higher Technical School of Architecture, Department of Architecture, Basque Government, Kutxabank and other sponsoring institutions and firms.

Organizing Committee

Comunicaciones

Papers



Valoración y utilidad de los índices PMV, PET y UTCI en la evaluación del confort térmico en parques urbanos: un caso de estudio

Valuation and use of PMV, PET and UTCI in the evaluation of thermal comfort in urban parks: a case study

Víctor José del Campo-Díaz¹, Douglas Miguel Llanos-Medina¹, Julen Laurentzi del Campo-Alea²

ABSTRACT

Currently, among the western countries, has been renewed the interest in the zero energy cities, as a result of the climate change, as well as the construction of open spaces with healthy thermal comfort for its citizens. Because of this, a significant number of urban researchers are interested in measuring and assessing thermal comfort levels in the open spaces of the city. But, remain some problems in the way of effectively estimating outdoor thermal comfort with indexes such as the PET or the new UTCI. These indices there are different between them. Specifically, more sensitive to environmental climatic variations, which could be an advantage designing spatial urban public spaces and choosing their organization. However, some problems persist in the design of thermally comfortable spaces for citizens. In this context, the present study analyses the urban design of open spaces and how these are influenced by the thermal comfort. The first part of the paper begins by highlighting the importance of the climate on the open spaces. It also includes some studies looking for an effective methodology to estimate the thermal comfort in these spaces. In the second part, we describe the simulations carried out to evaluate the thermal comfort of Los Hermanos parks in Barakaldo (Spain). For this purpose, the Physiologically Equivalent Temperature model (PET), Predicted Mean Vote model (PMV) and the Universal Thermal Climate Index (UTCI) were used. The results of our study reveal that depending on the shading strategy, different effectiveness is obtained in the improve of microclimate in open urban spaces.

Key Words: Open urban spaces, parks, thermal comfort, PMV, UTCI, PET

(1) Department of Thermal Machines and Engines, UPV/EHU, Bilbao, +34 946 01 3996, victor.delcampo@ehu.eus. (2) Department of Vegetal Biology and Ecology, UPV/EHU, Leioa.

1. Introducción

El estudio del confort térmico humano es objeto de investigación de diferentes disciplinas, tales como urbanistas, arquitectos, biólogos, ingenieros y profesionales de la salud, entre otros. En consecuencia, recientemente se han realizado numerosas investigaciones sobre los índices térmicos humanos, tales como la temperatura efectiva (ET), el índice de incomodidad de Thom, el Physiologically Equivalent Temperature (PET), el Universal Thermal Climate Index (UTCI), y el Predicted Mean Vote (PMV), entre otros. De estos índices, el PET, que describe las condiciones térmicas del cuerpo humano de una manera fisiológica relevante, es el más recomendado para la evaluación del confort térmico. Sin embargo, no hay que perder de vista el novedoso índice UTCI que permite estimar el confort térmico, tomando en cuenta parámetros climatológicos como la velocidad del viento, la radiación solar, la humedad y temperatura del aire.

Es así, como en la presente investigación se analiza el nivel de confort térmico en el Parque Los Hermanos en Barakaldo (Bizkaia), durante un día típico de invierno y un día típico de verano, con los métodos PMV, PET y, el más reciente, UTCI; estimados por medio del software libre RayMan.

El presente documento se ha organizado en dos partes. En la primera se describen los índices térmicos utilizados en esta investigación. Y en la siguiente parte, se detallan los pasos realizados para la estimación del nivel de confort térmico en el Parque Los Hermanos con sus respectivos análisis. Los hallazgos de esta investigación servirán de base para la formulación de estrategias pasivas de mejoramiento del confort ambiental en estos espacios vitales para la ciudad, ya que esto significaría no solamente detener las "islas de calor" en los meses más calientes, sino que además, ayudarían a minimizar los gastos energéticos en las viviendas, ya que, al tener espacios exteriores térmicamente cómodos, tanto en invierno como en verano, los habitantes podrían hacer más vida en la ciudad y no dentro de viviendas controladas con sistemas artificiales de climatización.

2. Índices de confort térmico en espacios urbanos abiertos y el programa RAYMAN

La valoración del confort térmico del área investigada se realizó con tres índices analíticos: PMV (siglas en inglés de Predicted Mean Vote), PET (o PET para siglas en inglés de Physiologically Equivalent Temperature) y UTCI. A continuación, se describe cada uno de ellos.

2.1. Definición de los índices térmicos: PMV, PET y UTCI

Fanger (1972) desarrolló el índice PMV para ambien-

1. Introduction

The study of human thermal comfort is the subject of research of different disciplines, such as urban planners, architects, biologists, engineers and health professionals, among others. As a result, numerous researches have recently been conducted on human thermal indices, such as effective temperature (ET), Thom discomfort index, Physiologically Equivalent Temperature (PET), Universal Thermal Climate Index (UTCI), and the Predicted Mean Vote (PMV), among others. Of these indices, PET, which describes the thermal conditions of the human body, is the most recommended for the evaluation of thermal comfort. However, do not lose sight of the new UTCI method that allows to estimate thermal comfort, considering weather parameters such as wind speed, solar radiation, humidity, and air temperature.

Thus, as in this research the level of thermal comfort in Los Hermanos Park in Barakaldo (Bizkaia), during a typical winter day and a typical summer day, with PMV, PET and UTCI methods, is analyzed; estimated through the free software RayMan.

This document has been organized into two parts. The first describes the thermal indices used in this research. And in the next part, we detail the steps taken to estimate the level of thermal comfort in Los Hermanos Park with their respective analyses. The results of this research will serve as basis for the formulation of passive strategies for improving environmental comfort in these living spaces for the city, as this would mean not only stopping the "heat islands" in the warmer months, also would help to minimize energy costs in homes, because, with thermally comfortable outdoor spaces, both in winter and summer, the inhabitants could live more in the urban spaces of the city and not within controlled housing with artificial air conditioning systems.

2. Indexes of thermal comfort in open urban spaces and the program RAYMAN

The evaluation of thermal comfort in the studied zone was performed with three indexes: PMV (Predicted Mean Vote), PET (Physiologically Equivalent Temperature) and UTCI (Universal Thermal Climate Index). Below, we describe each one of them.

2.1. Definition of thermal indexes: PMV, PET and UTCI

Fanger (1972) developed the PMV index for indoor environments in order to assess the thermal comfort of people according to various types of activity and clothing in air-conditioned spaces. In order to apply this PMV index in outdoor environments, Jendritzky and Nübler (1981) considered external radiation, obtaining a model called Klima-Michel Model (KMM)

tes interiores con el fin de evaluar el confort térmico de las personas de acuerdo con varios tipos de actividad y ropa en espacios climatizados. Con el fin de aplicar este índice de PMV en ambientes al aire libre, Jendritzky y Nübler (1981) consideraron la radiación externa, obteniendo un modelo llamado Klima-Michel Model (KMM) (Jendritzky, G. & Nübler, 1981). El índice PMV con KMM es una escala de medida adaptada para evaluar el confort térmico al aire libre en diferentes entornos al aire libre.

El PMV consta de seis posibles valores que se corresponden con otras seis sensaciones térmicas, según puede verse en la tabla 1.

(Jendritzky, G. & Nübler, 1981). The PMV index with KMM is a well-adjusted measure to assess outdoor thermal comfort in different outdoor environments.

The values of the PMV's thermal comfort indexes are six, and each of them corresponds to a thermal sensation, as can be seen in Table 1.

The PET index is based on the Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI), which models the thermal conditions of the human body in a physiologically relevant way. PET is defined as the air temperature at which, in a typical indoor setting, the heat budget of the human body is balanced with the same core and skin temperature as under the

VALORES ÍNDICES PMV	SENSACIÓN TÉRMICA
+3	Muy calurosa
+2	Calurosa
+1	Ligeramente calurosa
0	Neutra
-1	Ligeramente fresco
-2	Fresca
-3	Fría

Tabla 1. Valores índices de confort térmico del método PMV (Fanger, 1972).

El índice PET se define como “la temperatura del aire a la que, en un ambiente exterior típico (sin viento y radiación solar), el balance energético del cuerpo humano se equilibra con la misma temperatura interior y de la piel que bajo las condiciones exteriores que se evaluarán” (Mayer & Höppe 1987, Höppe 1999, Matzarakis et al., 1999). Según Honjo, el equilibrio térmico del cuerpo humano en ambientes interiores se alcanza con las siguientes condiciones; en la tabla 2 se puede observar los valores del índice PET y su correspondencia con la sensación térmica. La escala de evaluación de PET se obtiene calculando el PMV de Fanger (1970) para diferentes temperaturas del aire en el entorno de referencia utilizando los ajustes para la persona de referencia de PET (Blazejczyk, Epstein, Jendritzky, Staiger, & Tinz, 2012; Matzarakis et al., 1999).

complex outdoor conditions to be assessed (Höppe, 1999; Matzarakis, Mayer, & Iziomon, 1999; Mayer & Hoppe, 1987).

According to Honjo, the thermal balance of the human body in the indoor environment is attained with the following conditions: the mean radiant temperature (MRT) must coincide with the dry air temperature (Ta), 0.1 m/s air velocity, 50% relative humidity and 12 hPa water vapor pressure. The PET assessment scale is derived by calculating Fanger's (1970) PMV for varying air temperatures in the reference environment using the settings for the PET reference person (Blazejczyk, Epstein, Jendritzky, Staiger, & Tinz, 2012; Matzarakis et al., 1999). Table 2 collects the values of the PET index and its correspondence with every thermal sensation.

Uno de los factores más importantes en el método PET es la temperatura radiante media (Tmrt), medida en °C, (Charalampopoulos, Tsiros, Chronopoulou-

Among the most important factors that characterize the PET method is the temperature the mean radiant temperature (MRT), measured in °C (Charalampo-

VALORES PET ÍNDICES	SENSACIÓN TÉRMICA
35-41 °C	Muy calurosa
29-35 °C	Calurosa
23-29 °C	Poco calurosa
18-23 °C	Confortable
13-18 °C	Escasamente fría
8-13 °C	Fresco
4-8 °C	Fría

Tabla 2. Valores índices de confort térmico del método PET (Höppe, 1999).

Sereli, & Matzarakis, 2013; Chen & Matzarakis, 2014; Herrmann & Matzarakis, 2012). Otros parámetros de interés son la velocidad del aire y la temperatura seca del aire (medida en °C). Sin embargo, la humedad del aire y la humedad relativa del aire tienen un impacto muy débil en el confort térmico determinado por el índice PET (Chen & Matzarakis, 2014; Fröhlich & Matzarakis, 2016).

La Sociedad Internacional de Biometeorología (ISB) Action COST 7301 (Cooperación en Ciencia y Desarrollo Técnico) en febrero de 2009, se desarrolló el (Universal Thermal Climate Index) UTCI, que considera todos los ajustes de calor térmico y se puede aplicar a todos los climas, todas las regiones, en cualquier temporada, y en general, en cualquier aplicación biometeorológica (Jendritzky & Höppe, 2017).

Este índice se fundamenta en el concepto de la Temperatura Equivalente (ET) el cual involucra el ambiente de referencia y sus características: humedad relativa del 50% (presión de vapor máxima de 20 hPa), aire en calma y tomando la temperatura media radiante igual a la temperatura seca del aire. La respuesta fisiológica de la persona se estima después de exposiciones de 30 y 120 minutos. El UTCI se expresa en grados centígrados equivalentes (°C), asociados a una escala de valores en la que se relaciona la temperatura UTCI con el estrés térmico en ambientes exteriores (Bröde et al., 2012).

Blazejczyk reconoce las dificultades en el uso comparativo de los diversos índices, específicamente porque cada índice proporciona umbrales de temperatura diferentes con el mismo significado de sensaciones térmicas o descripciones de alerta, respectivamente (Blazejczyk, Epstein, Jendritzky, Staiger, & Tinz, 2012).

Para condiciones extremas se recomienda el uso de más de un índice, mientras que, para condiciones de calor, ambos índices (PET y UTCI) pueden ser utilizados indistintamente, aunque el UTCI es mejor para entornos calientes y húmedos. Por otra parte, para condiciones de frío, el UTCI arroja más detalles sobre el estrés térmico por frío (Matzarakis, Muthers, & Rutz, 2015).

poulos, Tsiros, Chronopoulou-Sereli, & Matzarakis, 2013; Chen & Matzarakis, 2014; Herrmann & Matzarakis, 2012). Other important parameters according to their importance are the air velocity and the dry bulb temperature of the air (measured in °C). On the contrary, the specific humidity and the relative humidity of the air, have a very weak impact on the thermal comfort evaluated by the index PET (Chen & Matzarakis, 2014; Fröhlich & Matzarakis, 2016).

The UTCI index was developed in 2009 which is usable for all climatic variables and can be applied to all weathers, all regions, in any season, and in general, in any biometeorological application (Jendritzky & Höppe, 2017).

The UTCI equivalent temperature for a certain combination of wind, radiation, humidity and air temperature is defined as the air temperature of the reference environment.

The physiological human response is estimated after exposures of 30 and 120 minutes. The UTCI index takes values in degrees Celsius equivalents (°C), which corresponds to a scale of values which relates the temperature, UTCI, as can be seen in table 3 (Bröde et al., 2012).

Blazejczyk recognizes the difficulties in the comparative use of the various indices, like UTCI and PET among others, specifically because every index provides different temperature thresholds with the same meaning of thermal sensations or alert descriptions, respectively (Blazejczyk et al., 2012). Zare observed in his study the strongest correlation between UTCI and PET. Conversely, in Blazejczyk et al.'s and Farajzadeh et al.'s study, the highest correlation was reported between UTCI and SET (Farajzadeh, 2015; Matzarakis, Muthers, & Rutz, 2015; Zare et al., 2018).

However, although in general, there is a good agreement and relationship between the indexes PET and UTCI for the warm levels. It seems that both indices can be used for general analysis. For extreme conditions, it is recommended to use more than one index. For hot conditions, UTCI or PET may be used indifferently, although UTCI is better for warm and humid environments. For cold conditions, UTCI gives more details about cold stress (Matzarakis et al., 2015).

Tabla 3.

Valores índices de confort térmico del método UTCI (Bröde et al., 2012).

VALORES ÍNDICES UTCI	SENSACIÓN TÉRMICA
38-46 °C	Calor muy Fuerte
32-38 °C	Calor Fuerte
26-32 °C	Calor Moderado
9-26 °C	Confortable
0-9 °C	Frio Suave
-13 - 0 °C	Frio Moderado
< -13 °C	Frio Fuerte a Frio Extremo

2.2. RAYMAN como herramienta para la estimación del confort térmico

RayMan fue desarrollado por Andreas Matzarakis, Helmut Mayer y Frank Rutz (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2007). Este programa calcula la influencia de la radiación solar de onda corta y larga en el confort térmico. Este programa es aplicable en áreas urbanas de estructuras tanto simples como complejas; además, es aplicable a la planificación tanto local como regional.

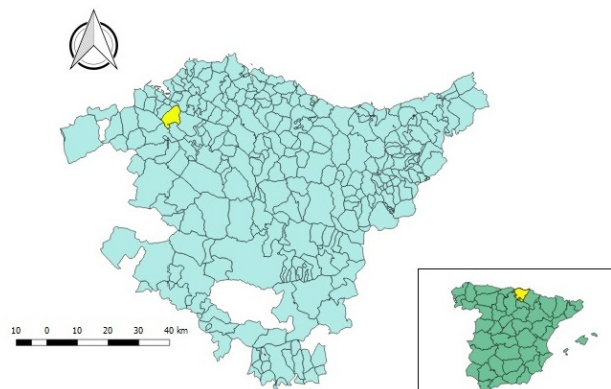
RayMan requiere unos parámetros mínimos de entrada: temperatura seca del aire, humedad del aire y velocidad del viento, para calcular la temperatura media radiante (T_{mr}). Esta temperatura es una variable de entrada necesaria para calcular los índices biometeorológicos térmicos, como el UTCI y el PET, entre otros (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2010).

Además, este programa ofrece otra información: duración de la luz del sol, órbita del sol y radiación global, lo que es útil en el diseño y planificación de áreas de recreo y en el urbanismo.

3. El área de estudio

3.1. Situación del área de estudio

El municipio de Barakaldo, con una superficie de 25,8 Km², está situado en la Margen Izquierda de la Ría del Nervión, en Bizkaia (provincia del País Vasco), en España (Figura 1).



El municipio está dotado de varios espacios públicos, uno de ellos es el Parque Los Hermanos, con una superficie 7830 metros cuadrados y un área arborizada de aproximadamente 4107 metros cuadrados localizado en el centro urbano de Barakaldo, a una altura de 20.18 m.s.n., y entre las coordenadas UTME: norte X=500746.53 Y=4793943.16; oeste X=500683.44 Y=4793908.9; sur: X=500759.16 Y=4793813.52 y este: X=500790.48 Y=4793920.18 (Figuras 2 al 4).

2.2. RAYMAN as a tool for estimating thermal comfort

The computer program RayMan was developed by Andreas Matzarakis, Helmut Mayer and Frank Rutz (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2007). Its model calculates the influence of the short-wave and long-wave solar radiation on the thermal comfort. This software is applied in urban areas of structures simple or complex. Also, it applies to the planning of both local and regional levels.

The above-mentioned software requires the following input parameters: dry temperature of the air, relative humidity of the air, and airspeed; which enables us to calculate the MRT. This temperature is the input variable that is needed in the calculation of the UTCI and PET indexes, among others (Matzarakis, Rutz, & Mayer, 2010).

On the other hand, this software can offer information about the duration of the sunlight, path of the sun and total radiation, which is necessary in the design and planning of recreation areas and urban design.

3. The studied area

3.1. Situation of the studied area

The municipality of Barakaldo (province of Spain) has an area of 25.8 Km². It is located on the Left Bank of the Nervión River Spain (Figure 1).

This municipality has several public spaces, one of them is Los Hermanos Park, located in the urban center of Barakaldo town. It has a total area of 7830 square meters and an arborized area of 3880 square meters (Figures 2 and 3). It is located at an altitude of 20.18 meters above sea level and its coordinates UTME: north X = 500746.53 Y = 4793943.16; West X = 500683.44 Y = 4793908.9; south: X = 500759.16 Y = 4793813.52 and east: X = 500790.48 Y = 4793920.18 (Figure 4).

Figura 1. Situación del municipio Barakaldo en España. (Elaboración propia, 2019).

Figura 2.
Límites del área de estudios:
Parque Los Hermanos.
(Elaboración propia, 2019).



Figura 3.
Área arbolada del Parque
Los Hermanos. (Elaboración
propia, 2019).

Figura 4.
Ubicación del área de
estudios: Parque Los
Hermanos. (Elaboración
propia, 2019).



3.2. Condiciones climáticas del área de estudio

El clima del área de estudio se corresponde con el dominio oceánico templado, caracterizado por temperaturas suaves a lo largo de todo el año, sin fríos intensos en invierno, ni excesivo calor en verano, predominando la humedad relativa alta como consecuencia de las altas precipitaciones.

Barakaldo se encuentra localizado en el interior extremo occidental de la Costa Vasca, que alternativamente está sometido a centros de altas y bajas presiones: anticiclón de las Azores y anticiclones polares del Atlántico, la depresión del Atlántico Norte y la del golfo de León.

Las características climáticas no se aprecian por igual en toda la zona oceánica debido a la proximidad al mar, las cadenas montañosas, la orientación de los valles, etc. Así, Barakaldo tiene temperaturas medias suaves y con escasas oscilaciones. La temperatura media anual se sitúa en torno a los 14° C, mientras que las precipitaciones medias anuales o hacen alrededor de los 1200 mm. En consecuencia,

3.2. Climatic conditions of the studied area

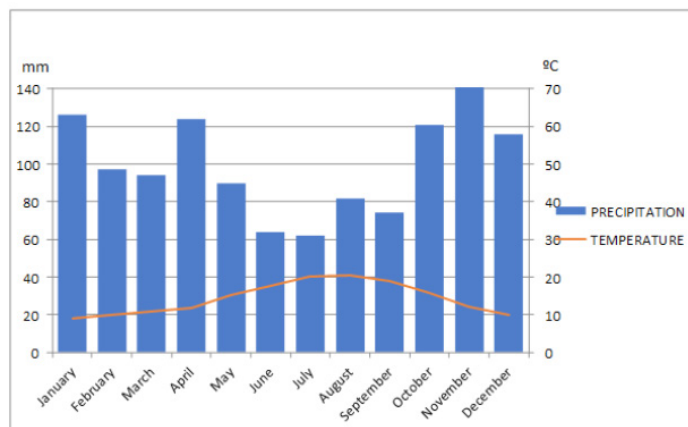
The climate of the studied area corresponds to the temperature oceanic domain, characterized by mild temperatures throughout the year, without intense cold in winter, or excessive heat in summer, with high relative humidity prevailing as a result of frequent rains.

Barakaldo is in the metropolitan area of Bilbao, which is alternately subject to high and low-pressure centers: the Azores anticyclone, the North Atlantic depression and the Gulf of Leon.

The climatic features are modified by the proximity of the sea, the mountain ranges and the orientation of the valleys, so that Barakaldo, has an average annual temperature around 14 °C, and the median annual rainfall around 1200 mm.

For the climatological study of the studied area, data was taken from the Bilbao Airport Meteorological Base (AEMET), located at 5 km of Barakaldo. The mesoclimatic characteristics of this base are like those of Barakaldo, and it is not necessary to con-

Figura 5.
Diagrama climático de la
Estación Meteorológica
del Aeropuerto de Bilbao.
(Elaboración propia, 2019).



el efecto combinado de la proximidad del mar, las temperaturas suaves y abundantes precipitaciones precisan un clima muy húmedo.

Para el estudio climatológico se han utilizado datos de la Estación Meteorológica Bilbao Aeropuerto y perteneciente a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). Dicha estación, presenta características mesoclimáticas similares que el área de estudio, y no es necesario tener en cuenta las pequeñas variaciones que pueden derivar las condiciones topográficas, ya que la zona en estudio se encuentra a 110 m sobre el nivel del mar.

En la siguiente tabla se presentan los datos correspondientes a la Estación Meteorológica Bilbao Aeropuerto.

El diagrama de Walter-Lieth no es estrictamente una clasificación climática (Figura 6), sino una clasificación ecológica, que da una idea de la variación anual de la temperatura y la precipitación, que permite conocer el tipo de vegetación que puede existir en el área estudiada (Urbano Terrón, 1989).

Los principales parámetros ecológicos de naturaleza climática que se derivan del climodiagrama son los siguientes:

- No hay período de sequía como se deduce de la curva de precipitaciones.
- No existe intervalo de helada segura, ya que en ningún mes del año la temperatura media de las mínimas es inferior a 0° C, pero si lo hay de helada

considerar las pequeñas variaciones que pueden derivar de las condiciones topográficas ya que el área de estudio se encuentra a 110 metros sobre el nivel del mar.

En la siguiente figura, se presentan los datos correspondientes a la Estación Meteorológica Bilbao Aeropuerto. En ella se observa que todos los meses son húmedos, siendo julio el menos húmedo del año.

El diagrama de Walter-Lieth no es estrictamente una clasificación climática (Figura 6), sino una clasificación ecológica, que da una idea de la variación anual de la temperatura y la precipitación, que permite conocer el tipo de vegetación que puede existir en el área estudiada (Urbano Terrón, 1989).

Los principales parámetros ecológicos de naturaleza climática que se derivan del climodiagrama son los siguientes:

- No hay período de sequía como se deduce de la curva de precipitaciones.
- No existe intervalo de helada segura, ya que en ningún mes del año la temperatura media de las mínimas es inferior a 0° C, pero si lo hay de helada
- No hay período de sequía como se deduce de la curva de precipitaciones.
- No existe intervalo de helada segura, ya que en ningún mes del año la temperatura media de las mínimas es inferior a 0° C, pero si lo hay de helada
- No existe intervalo de helada segura, ya que en ningún mes del año la temperatura media de las mínimas es inferior a 0° C, pero si lo hay de helada
- No existe intervalo de helada segura, ya que en ningún mes del año la temperatura media de las mínimas es inferior a 0° C, pero si lo hay de helada

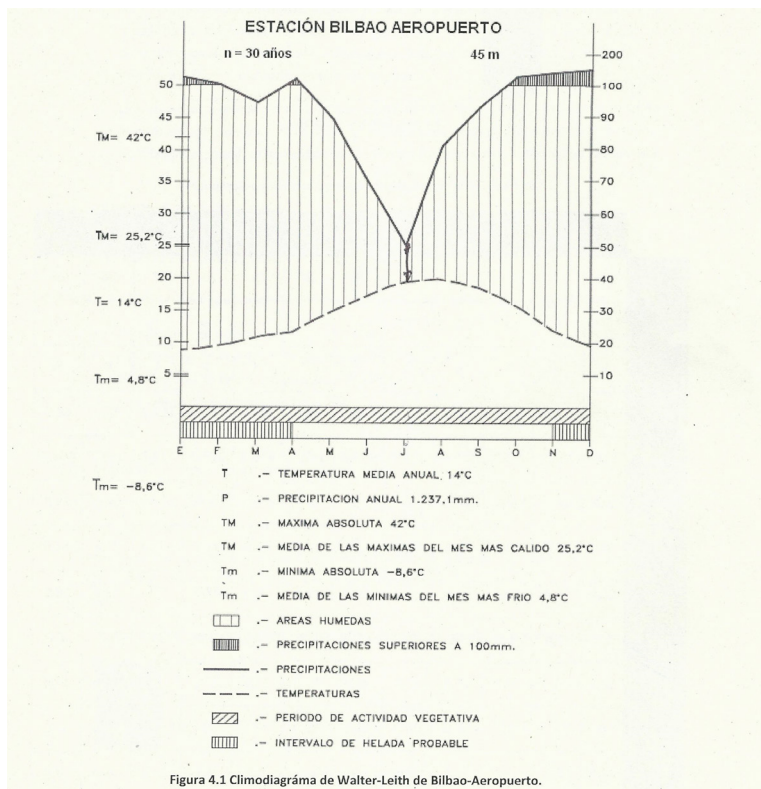


Figura 6. Diagrama Walter-Lieth del Bilbao-Aeropuerto. (Elaboración propia, 2019).

da probable ya que en diciembre, enero, febrero y marzo la temperatura media de las mínimas absolutas es inferior a 0° C.

- La temperatura media del mes de enero está por encima de los 7,5° C, que es el límite inferior establecido para el período de actividad vegetativa, y por encima de la cual se manifiesta un incremento de biomasa.

3.3. Especies arbóreas existentes

En el área de estudio, se observa la presencia tanto de árboles caducifolios como perennifolios, entre los que se pudieron identificar los siguientes:

Perennifolios: *Abies alba* (abeto común), *Arecáceas* (Palmeras), *Quercus ilex* (encina), *Magnolia grandiflora* (magnolia común), *Olea europaea* (olivo) y *Laurus nobilis* (laurel).

Caducifolios: *Prunus domestica* (ciruelo europeo), *Platanus hispánica* (plátano de sombra), *Salix babylonica* (Sauce llorón), *Tilia* (tilo), *Aesculus hippocastanum* (castaño de Indias), *Populus* (Álamo) y *Quercus rubra* (roble rojo americano).

3.4. Situación actual del parque

El parque Los Hermanos, es un espacio regular formalmente adecuado y estructurado, espacialmente contenido y versátil ya que funciona tanto como espacio recreacional, como lugar de encuentros socio-culturales.

La calidad ambiental del espacio es "buena", plenamente construido y con un adecuado mobiliario urbano; suficientes áreas verdes y en buen estado, el estado actual del mobiliario existente es bueno; así como eficiente nivel de limpieza y de mantenimiento general de la estructura física.

4. Metodología

Para determinar los niveles de confort térmico en el Parque Los Hermanos con el modelo RayMan, se utilizó el índice PMV, además del PET y el UTCI por su versatilidad y facilidad de aplicación y comprensión. Los días escogidos para la realización de las simulaciones son un día típico de verano y un día típico de invierno, en este caso los miércoles 21 de junio de 2017 y jueves 21 de diciembre de 2017, respectivamente. Las horas de las mediciones corresponden a las establecidas en el horario solar de Greenwich. Los datos de insumo para las simulaciones fueron suministrados por AEMET.

En los dos días seleccionados, se realizarán las simulaciones en cuatro escenarios posibles a saber:

Escenario 1: Punto de medición en el centro del parque, expuesto al sol y conservando la sombra pro-

3.3. Existing tree species

In the study area, are observed the presence of deciduous and evergreen trees located at the northeast of the park, among which the following could be identified:

Evergreen: *Abies alba* (Common spruce), *Arecaceae* (Palm trees), *Quercus ilex* (Holm oak), *Magnolia grandiflora* (Common magnolia), *Olea europaea* (Olive) and *Laurus nobilis* (Laurel).

Deciduous plants: *Prunus domestica* (European plum tree), *Platanus hispánica* (Banana shadow), *Salix babylonica* (Weeping willow), *Tilia* (Tinden), *Aesculus hippocastanum* (Horse chestnut), *Populus* (Alamo) and *Quercus rubra* (American red oak).

3.4. Physical park structure

Los Hermanos park has a diamond shape, formally structured, spatially contained and versatile since it functions both as a recreational space and as a place for socio-cultural encounters.

The environmental quality of the space is "good", fully built and with adequate urban furniture; enough green areas in good condition, the current state of existing furniture is good; as well as an efficient level of cleaning and general maintenance of the physical structure.

4. Methodology

To determine the thermal comfort levels in Los Hermanos Park with the RayMan model was used the PMV index, in addition to PET and UTCI for its versatility, ease of application and understanding. The days chosen for the realization of the simulations are a typical summer day (June 21th, 2017) and a typical winter day (December 21th, 2017). The hours of the measurements correspond to those established in Greenwich solar time. The input data for the simulations were provided by Bilbao Airport Meteorological Base (AEMET).

In the two selected days, the simulations will be carried out in four possible scenarios, namely:

Scenario 1: Measurement point in the center of the park, exposed to the sun and conserving the shadow projected by buildings and mature deciduous trees in the park.

Scenario 2: Measurement located in the center of the park, exposed to the sun and conserving the shadow projected by existing buildings in the park, but without trees.

Scenario 3: Measurement point located in the center of the park, exposed to the sun and conserving the shadow projections generated by existing buildings

RayMan Pro - Output - Ausgabe

RayMan Pro 2.3 beta © 1999 - 2014
 Meteorological Institute, University of Freiburg, Germany
 place: Spanien (Barakaldo)
 geogr. longitude: -2°59' latitude: 43°17' timezone: UTC +1.0 h
 horizon limitation: 0.0% sky view factor (RayMan): 1.000

Enum. /tag	date	day of year	time	Latit. °N	Long. °E	Altit. m	UTC	sunr. h:mm	sunset h:mm	Gmax W/m²	Gact W/m²	A W/m²	Ta °C	VP hPa	RH %
1	21.12.2017	355	0:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	274.3	6.8	9.4	95.1
2	21.12.2017	355	1:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	274.3	6.8	9.4	95.1
3	21.12.2017	355	2:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	273.5	6.6	9.4	96.5
4	21.12.2017	355	3:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	273.9	6.7	9.4	95.6
5	21.12.2017	355	4:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	273.1	6.5	9.4	97.1
6	21.12.2017	355	5:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	273.1	6.5	9.4	97.1
7	21.12.2017	355	6:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	270.2	6.0	9.0	96.5
8	21.12.2017	355	7:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	262.9	4.1	9.0	109.0
9	21.12.2017	355	8:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.0	0.0	254.3	3.1	7.4	97.0
10	21.12.2017	355	9:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	10.7	10.7	258.7	4.3	7.4	89.1
11	21.12.2017	355	10:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	0.5	0.2	271.5	6.2	9.2	97.1
12	21.12.2017	355	11:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	294.7	294.7	286.0	9.8	9.3	76.6
13	21.12.2017	355	12:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	382.1	382.1	296.5	12.3	9.4	65.7
14	21.12.2017	355	13:00	43.28	-2.98	38	1.0	8:42	17:40	418.6	418.6	299.8	12.9	9.7	65.2

Figura 7. Tabla de salida con los resultados para las simulaciones del día 21.12.2017. (Elaboración propia, 2019).

yectada por edificios y árboles caducifolios maduros.

Escenario 2: Punto de medición en el centro del parque, expuesto al sol y conservando las proyecciones de sombra generadas por edificios existente en el parque, pero sin árboles.

Escenario 3: Punto de medición en el centro del parque, expuesto al sol y conservando las proyecciones de sombra generadas por edificios existente en el parque, trasladando los árboles del norte al sur del parque.

Escenario 4: Similar al primer escenario, pero incrementando el número de árboles maduros de hoja caduca plantados en el parque.

Luego de definir los parámetros para las simulaciones, tales como fecha, hora, localización, datos del sujeto de prueba y vestimenta y actividad, se definieron los obstáculos: edificios y árboles; y el Sky View Factor, con base a fotografías ojo de pez del espacio en estudio.

Las simulaciones realizadas, dan como producto una serie de tablas con los resultados solicitados (ver siguiente ilustración). Estos serán analizados a dos niveles, en el primer, se comparan los cuatro escenarios a fin de determinar aquellos en los cuales se experimenta el mejor confort térmico y, posteriormente, se compararon los tres índices seleccionados a fin de establecer, cual permite obtener los resultados más representativos del espacio analizado.

5. Resultados

5.1. Resultados para el día tipo de invierno (21/12/2017).

5.1.1. PMV con KMM

El gráfico 1 presenta el PMV con KMM en cuatro escenarios del parque, que ya han sido explicados más arriba. Este PMV se ha calculado desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas del día 21/02/2017, en intervalos de una hora.

in the park, but changing the location of the trees from the north to the south of the park.

Scenario 4: Proposal scenario, like the first scenario and planting new mature deciduous trees planted at the north of the park.

After defining the parameters for the simulations, such as day, time, location, and test subject (such as clothing, position, and activity). The obstacles defined were buildings and trees.

The simulations carried out gave the following results (see following Figure). First, simulations of the four defined scenarios have been carried out, with the three thermal comfort indexes chosen. Subsequently, the results obtained were analyzed to determine which of the three thermal comfort indices is most effective.

5. Results

5.1. Results for the typical winter day (2017.12.21).

5.1.1. PMV index with KMM

Graphic 1 presents the PMV with KMM index results estimated in four scenarios of the park, which have already been explained above. This PMV with KMM has been calculated from 00:00 hours until 23:00 hours of day 21.02.2017, in intervals of one hour.

Note that in winter, the test user perceived discomfort thermal in all the simulation scenarios. This discomfort was classified as very cold, from 00:00 to 10:00, and from 18:00 to 23:00. In the central hours of the day, from 11:00 to 17:00, the discomfort decreases reaching, towards 14:00 the cold rating. Consequently, the stay in the park in winter is characterized by a very large or large thermal discomfort. All this even though evergreen trees allow the entry of solar radiation.

Obsérvese que, en invierno, el usuario experimentará un gran desconfort térmico en todos los escenarios de simulación planteados. Este desconfort puede catalogarse como muy frío, desde las 00:00 hasta 10:00, y desde las 18:00 a las 23:00. En las horas centrales del día, desde las 11:00 hasta las 17:00, el desconfort disminuye alcanzándose, hacia las 14:00 la calificación de frío. En consecuencia, la estancia en dicho parque en invierno se caracteriza por un desconfort térmico muy grande o grande. Todo ello a pesar de que los árboles caducifóleos permiten la entrada de la radiación solar.

5.1.2. PET

Analizando la sensación térmica de la prueba de los usuarios de acuerdo con el índice PET en los cuatro escenarios (Gráfico 2), se observa que de 12:00 a 10:00 y de 18:00 a 23:00, la sensación térmica es fría. En el horario central del día, de 11:00 a 17:00, percibió la mejor sensación térmica de frío.

5.1.2. PET index

Analyzing the thermal sensation of the users test according to the PET index in the four scenarios (Table 5), it is observed that from 12:00 am to 10:00 am and from 6:00 pm to 11:00 pm, the thermal sensation is cold. In the central hours of the day, from 11:00 to 17:00, perceived the best thermal sensation of cool.

5.1.3. UTCI

From 00:00 hours to 12:00 hours and from 16:00 to 23:00, the thermal sensation according to the UTCI method is "mild cold", and from 13:00 to 15:00, it is of "comfortable" in the limit of "soft cold" (Table 6).

5.1.4. Index comparison

The four scenarios for day 2017.12.21 have very similar values among the three thermal comfort indices used. Consequently, to compare the three indices on the winter day we take scenario 4 as representative

Gráfico 1.
Resultados PMV con KMM
para el día 21/12/2018
(Elaboración propia, 2019).

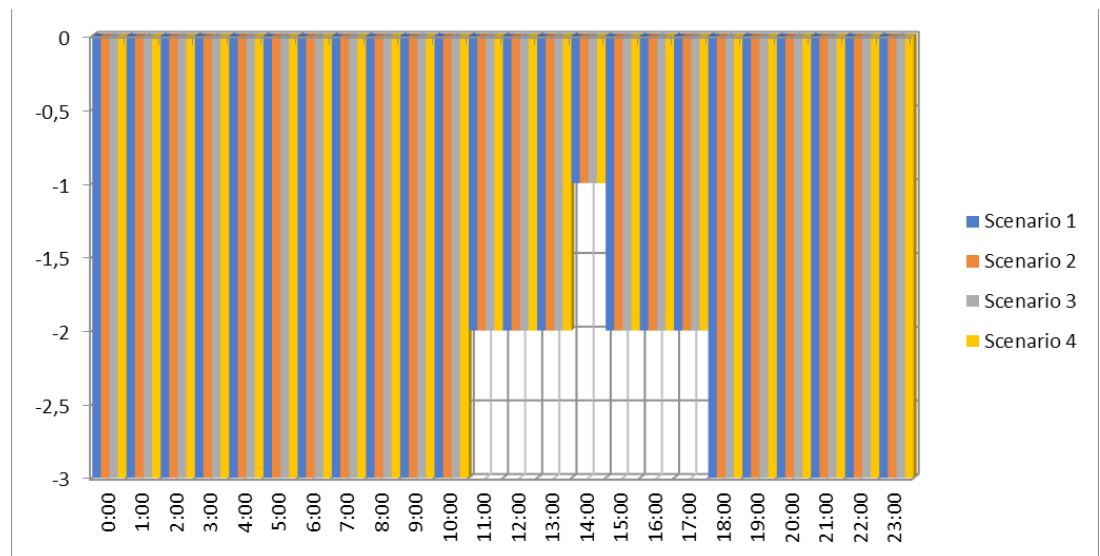
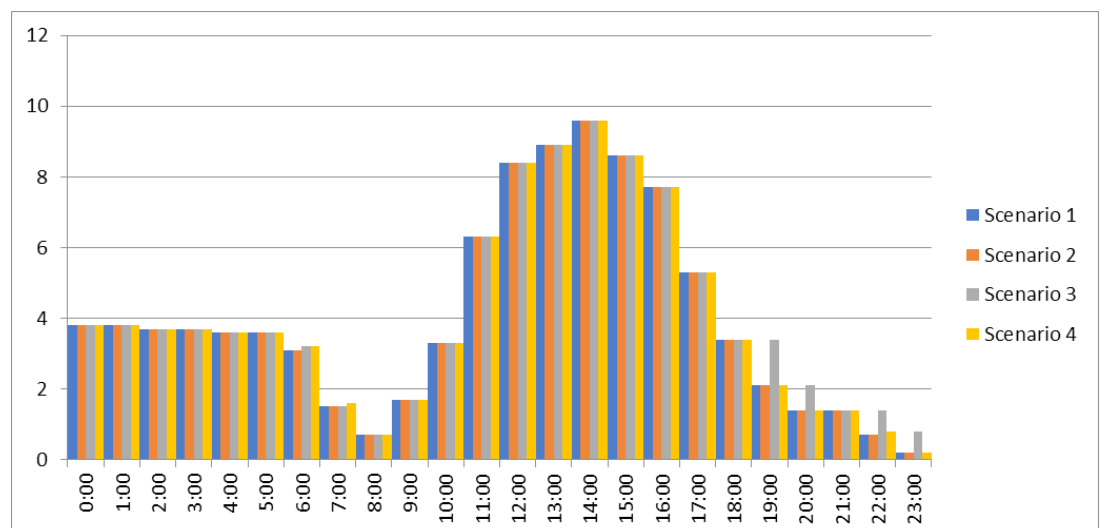


Gráfico 2.
Resultados PET para el día
21/12/2017 (Elaboración
propia, 2019).



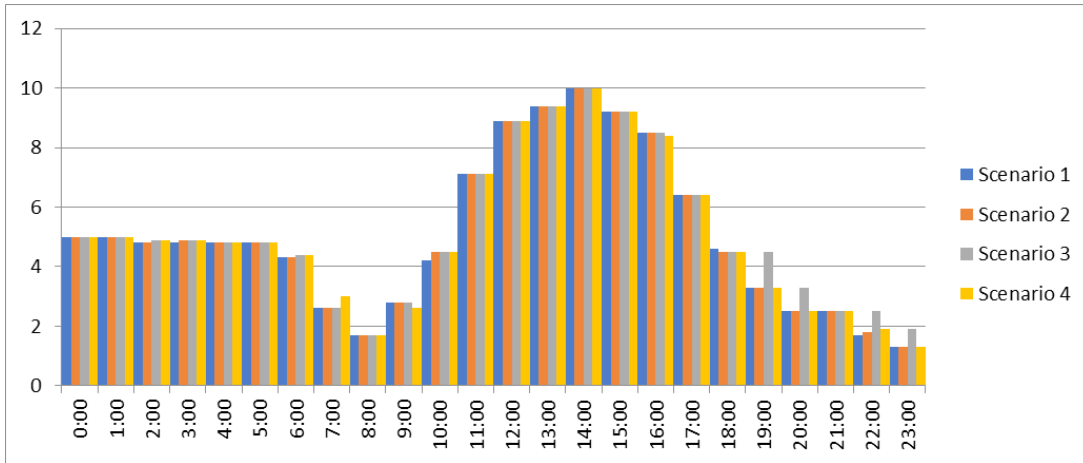


Gráfico 3. Resultados UTCI para el día 21/12/2017 (Elaboración propia, 2019).

5.1.3. UTCI

De 00:00 horas a 12:00 horas y de 16:00 a 23:00, la sensación térmica según el método UTCI es “frío suave”, y de 13:00 a 15:00, es de “cómodo” en el límite de “frío suave” (Gráfico 3).

5.1.4. Comparación de índices

Los cuatro escenarios para el día 21/12/2017 presentan valores de los tres índices de confort térmico utilizados muy similares. En consecuencia, para comparar los tres índices en el citado día tomamos el escenario 4 como representante de los otros tres,

of the other three, which would be unworkable on the day 2017.06.21.

In the time range from 00:00 to 11:00 the three indices indicate a “very cold” thermal discomfort, as well as the one from 16:00 to 23:00. From 11:00 to 17:00 there is a divergence between the three indices used, the PMV whit KMM gives a comfort index “cold” except at 14:00 when it turns fresh. The PET is separated from the values of the PMV index with KMM, especially at 11:00, 16:00 and 17:00 hours, with “very cold” thermal comfort. Finally, the UTCI makes its greatest difference with the previous indices from 13:00 to 15:00 hours where it gives “neutral” thermal

ESCENARIO 4_DÍA: 2017.12.21			
Hora	PMV	PET	UTCI
00:00	-3	3,8	5
01:00	-3	3,8	5
02:00	-3	3,7	4,9
03:00	-3	3,7	4,9
04:00	-3	3,6	4,8
05:00	-3	3,6	4,8
06:00	-3	3,2	4,4
07:00	-3	1,6	3
08:00	-3	0,7	1,7
09:00	-3	1,7	2,6
10:00	-3	3,3	4,5
11:00	-2	6,3	7,1
12:00	-2	8,4	8,9
13:00	-2	8,9	9,4
14:00	-1	9,6	10
15:00	-2	8,6	9,2
16:00	-2	7,7	8,4
17:00	-2	5,3	6,4
18:00	-3	3,4	4,5
19:00	-3	2,1	3,3
20:00	-3	1,4	2,5
21:00	-3	1,4	2,5
22:00	-3	0,8	1,9
23:00	-4	0,2	1,3

Tabla 4. Comparación de resultados PMV con KMM, PET y UTCI para el día 21/12/2017: Escenario 4 (Elaboración propia, 2019).

cosa que sería absolutamente inviable en el día 21/06/2017.

En el intervalo horario de 00:00 a 11:00 los tres índices indican un disconfort térmico "muy frío", al igual que el que va de 16:00 a 23:00. De 11:00 a 17:00 se da una divergencia entre los tres índices utilizados, el PMV con KMM da un índice de confort "frío" excepto a las 14:00 en que se torna en fresco. El PET se aparta del PMV con KMM especialmente a las 11:00, 16:00 y 17:00 horas, con un confort térmico "muy frío". Por último, el UTCI marca su máxima diferencia con los anteriores índices de 13:00 a 15:00 horas donde da un confort térmico "neutral". En los tres índices, hemos considerado el número de clo es 1 y el sujeto se encuentra en movimiento.

5.2. Resultados para el día tipo de verano (21/06/2017).

5.2.1. PMV CON KMM

El gráfico 4 presenta el PMV con KMM en los cuatro escenarios del parque. Este índice se ha calculado desde las 00:00 horas hasta las 23:00 horas del día 21/06/2017, en intervalos de una hora.

Los resultados revelaron una sensación térmica "fría" de 00:00 a 06:00 la sensación térmica es "fría", mientras que de 12:00 a 15:00 esta sensación térmica fue "cálida". La sensación térmica óptima (neutral) se registró a las 19:00.

comfort. In all three indices, we have considered the number of clo is 1.0 and the subject is in motion.

5.2. Results for the typical summer day (2017.06.21)

5.2.1. PMV index

Graphic 4 presents the PMV with KMM in the four scenarios of the park. This PMV with KMM has been calculated from 00:00 hours until 23:00 hours on 2017.06.21, in one-hour intervals.

The results revealed a "cold" thermal sensation from 00:00 to 06:00 the thermal sensation is "cold", while from 12:00 to 15:00 this thermal sensation was "warm". The optimal (neutral) thermal sensation was recorded at the 19:00.

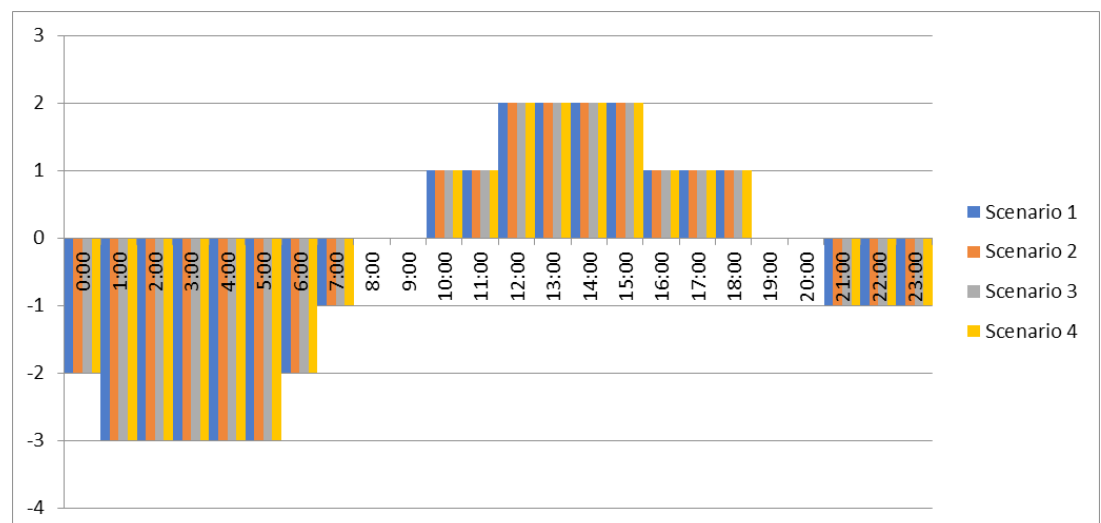
5.2.2. PET index

In relation to this index, and for the four scenarios, the "very cold" thermal sensation was presented from 00:00 to 06:00 and from 22:00 to 23:00, both inclusive, the thermal sensation is "not very cold". The thermal sensation is "comfortable" 8:00 and from 20:00 to 21:00 hours, the thermal sensation is "comfortable" in the four scenarios.

In summer, in scenarios 1, 2 and 3; the thermal sensation "comfortable" are registered from 00:00 to 16:00. However, in scenario 4 the aforementioned thermal

Gráfico 4.

Resultados PMV con KMM para el día 21/06/2017 (Elaboración propia, 2019).



5.2.2. PET

En relación con este índice, y para los cuatro escenarios, la sensación térmica "muy fría" se presentó de 00:00 a 06:00 y de 22:00 a 23:00, la sensación térmica no es muy "fría". La sensación térmica es "cómoda" de 8:00 y de 20:00 a 21:00 horas, la sensación térmica es "cómoda" en los cuatro escenarios.

sensation occurred from 07:00 to 09:00, which was the result of the increase in the number of deciduous trees. On the other hand, in scenarios 1, 2 and 3 at sunset (from 20:00 to 21:00) the "comfortable" thermal sensation was re-recorded, but in scenario 4, this record was extended, from 19:00 to 21:00.

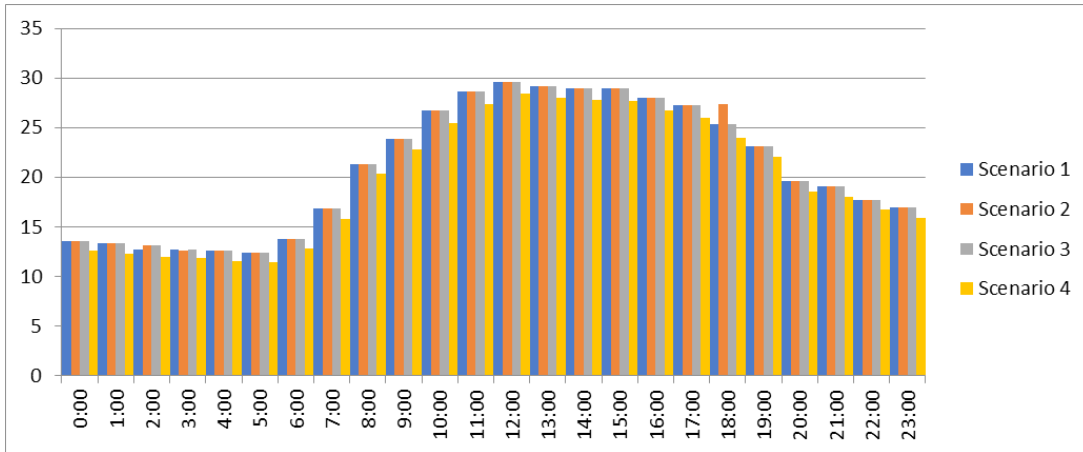


Gráfico 5. Resultados PET para el día 21/06/2017 (Elaboración propia, 2019).

En verano, en los escenarios 1, 2 y 3; la sensación térmica “cómoda” se registran de 00:00 a 16:00. Sin embargo, en el escenario 4 la sensación térmica antes mencionada ocurrió de 07:00 a 09:00, producto del aumento en el número de árboles caducifolios. Por otro lado, en los escenarios 1, 2 y 3 al atardecer (de 20:00 a 21:00) se volvió a registrar la sensación térmica “cómoda”, pero en el escenario 4, este récord se amplió, de 19:00 a 21:00.

5.2.3. UTCI

In this index, the thermal “comfortable” sensation in summer, is given by the temperature range of 9 to 26 °C. This thermal sensation was recorded from 00:00 to 8:00 and from 19:00 to 24:00. While the interval 9:00 to 18:00 was characterized by thermal discomfort, whose cause was “moderate heat”.

5.2.3. UTCI

En este índice la sensación térmica “cómoda” en verano, se da por el rango de temperatura de 9 a 26 °C. Esta sensación térmica se registró de 00:00 a 8:00 y de 19:00 a 24:00. Mientras que el intervalo de 9:00 a 18:00 se caracterizó por malestar térmico, cuya causa fue “calor moderado”.

5.2.4. Index comparison

When simulating the values of thermal comfort in summer, in the scenario 4 was recorded the best thermal comfort, as a result of the increase in the number of deciduous trees in this scenario. In addition, it was observed that the results obtained with the indices PMV with KMM and PET indicate that from 10:00 to 18:00 the feeling of discomfort ther-

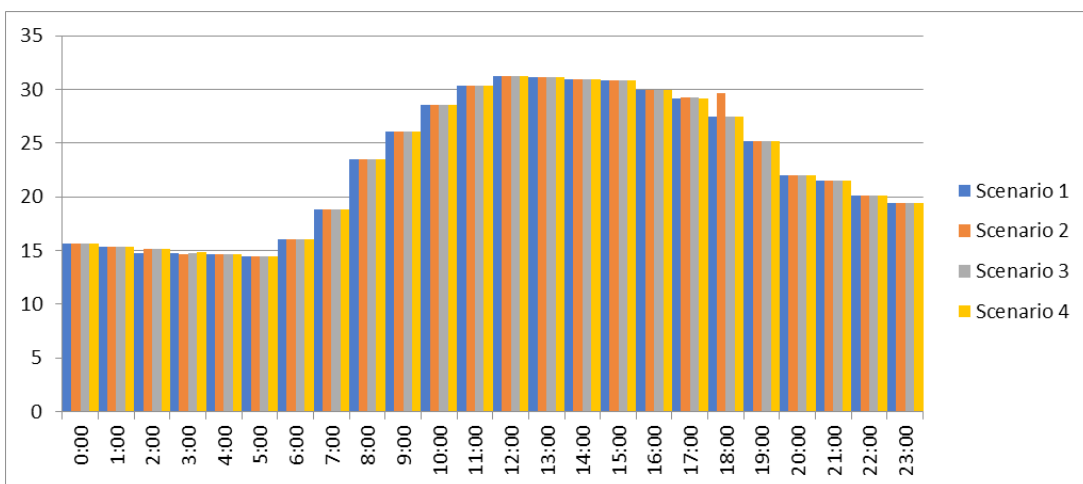


Gráfico 6. Resultados UTCI para el día 21/06/2017 (Elaboración propia, 2019).

5.2.4. Comparación de índices

Al estimar los valores de confort térmico en verano, el cuarto escenario el que registra los mejores valores de confort térmico, en el que se incrementa el número de árboles en el área de estudio. Además, se observó que los resultados obtenidos con los índices PMV con KMM y PET indican que de 10:00 a 18:00 la sensación de malestar térmico es “ligeramente

mal is “slightly warm”. On the other hand, the UTCI estimates a “comfortable” thermal sensation 00:00 to 08:00 and from 19:00 to 23:00; while the rest of the day are more “warm”.

The values of the UTCI and PET indices for the type 2017.06.21 presented similar thermal comfort re-

Tabla 5.

Comparación de los resultados de PMV con KMM, PET y UTCI para el día 21/06/2017: Escenario 4 (Elaboración propia, 2019).

Hora	ESCENARIO 4_DÍA: 2017.06.21		
	PMV con KMM	PET	UTCI
00:00	-2	12,6	15,6
01:00	-3	12,3	15,3
02:00	-3	12	15,1
03:00	-3	11,8	14,8
04:00	-3	11,5	14,6
05:00	-3	11,4	14,4
06:00	-2	12,8	16
07:00	-1	15,8	18,8
08:00	0	20,3	23,5
09:00	0	22,8	26,1
10:00	1	25,4	28,6
11:00	1	27,4	30,3
12:00	2	28,4	31,2
13:00	2	28	31,1
14:00	2	27,8	30,9
15:00	2	27,7	30,8
16:00	1	26,7	29,9
17:00	1	26	29,2
18:00	1,6	24	27,5
19:00	0,4	22	25,2
20:00	-0,8	18,5	22
21:00	-1	18	21,5
22:00	-1,4	16,7	20,1
23:00	-1,7	15,9	19,4

caliente". Por otro lado, el UTCI calcula una sensación térmica "cómoda" de 00:00 a 08:00 y de 19:00 a 23:00; mientras que el resto del día son más "calientes".

Los valores de los índices UTCI y el PET para el día tipo 21/06/2017 presentaron resultados de confort térmico análogos y semejantes, como puede observarse en la tabla desde las 07:00 hasta las 21:00 horas. En consecuencia, para condiciones ambientales de ligeramente caluroso y caluroso, se puede utilizar cualquiera de los dos.

6. Conclusiones

Las simulaciones realizadas en esta investigación revelan que los índices de confort térmico (PET y UTCI) pueden verse significativamente afectados por la configuración de obstáculos urbanos, especialmente, la vegetación arbórea. La reducción significativa de los valores del índice PET para un día típico de verano se debe al aumento de los árboles, que contribuyen a generar más sombras en la zona, minimizando la exposición a la radiación solar y aumentando el confort térmico. Esto se debe a que la vegetación, que tiene una gran capacidad para enfriar el microclima por su función natural de evapotranspiración. También las paredes y el techo de los edificios contribuyen a reducir significativamente la

sults, as can be seen in the table above from 07:00 to 21:00 hours. Consequently, for slightly hot and hot environmental conditions, either can be used.

6. Conclusions

The simulations carried out in our study, for summer and winter, reveals that the thermal comfort parameters (PET and UTCI) can be significantly affected by the configuration of urban obstacles, specially, the arboreal vegetation. The significant reduction in PET index for a typical summer day is due to the increase of trees, which contribute to generate more shadows in the area, minimizing the exposure to solar radiation and increasing thermal comfort. This is because vegetation, which has a great capacity to cool the microclimate by its natural function of evapotranspiration. Also, walls and roof of buildings contributes significantly reduce the mean radiant temperature, and therefore its PET index. Thus, on the analyzed day of summer in the current situation, four hours of thermal comfort were estimated. However, increasing the shaded area reached six hours of thermal comfort.

With this, the effectiveness of the shading of the urban space is proven as an effective strategy to improve thermal comfort conditions in open spaces, as well as to contribute to the reduction of energy

temperatura radiante media, y por lo tanto su índice de PET. Así, el día analizado del verano en la situación actual, se estimaron cuatro horas de confort térmico. Sin embargo, el aumento de la zona sombreada alcanzó seis horas de confort térmico.

Con ello, se comprueba la efectividad del sombreado del espacio urbano como una estrategia efectiva para mejorar las condiciones de confort térmico en los espacios abiertos, así como contribuir a la reducción del consumo de energía, tanto para enfriamiento (en verano) como para calefacción (en invierno). Ya que, al mejorar las condiciones climáticas en el exterior, se estimula el uso de los espacios públicos, incrementando el número de visitantes en los espacios abiertos y reduciendo las horas de estadía de las personas dentro de sus residencias, conllevando a la reducción del consumo de energías primarias y, por ende, de la emisión de los GEI.

Además, los resultados de las simulaciones realizadas por el programa Rayman en el Parque de Los Hermanos demuestran que el mismo tiene potencial para convertirse en una herramienta útil para auxiliar a los planificadores y diseñadores urbanos a entender el potencial de los espacios abiertos para mejorar los microclimas en las áreas urbanas, ya que permite simular diferentes configuraciones espaciales, hasta dar con la apropiada para cada microclima y geografía mediterránea.

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda realizar otros análisis de aplicación del programa RayMan para la estimación de los valores de confort térmico en otros espacios urbanos de Bizkaia, a fin de conocer la correlación entre la morfología urbana y el confort térmico.

Para próximas investigaciones, se recomienda no solo continuar los estudios sobre la efectividad del viento como estrategia de mejoramiento de confort térmico en el exterior, sino también variables como el ruido, la precipitación y la calidad del aire.

consumption, both for cooling (in summer) and for heating (in winter). Since, by improving weather conditions abroad, the use of public spaces is encouraged, increasing the number of visitors in open spaces and reducing the hours of stay of people within their residences, leading to the reduction of consumption of primary energies and, therefore, of the emission of Greenhouse Gases.

In addition, the results of the simulations conducted by the Rayman program at the Los Hermanos Park show that it has the potential to become a useful tool to help urban planners and designers understand the potential of open spaces to improve microclimates. In urban areas, since it allows to simulate different spatial configurations, until finding the appropriate one for each microclimate and Mediterranean geography.

Based on the results obtained in the present investigation, it is recommended to carry out other application analyzes of the RayMan program for estimating thermal comfort values in other urban spaces, in order to know the correlation between urban morphology and thermal comfort.

For future research, it is recommended not only to continue studies on the effectiveness of wind as a strategy for improving thermal comfort abroad but also variables such as noise, precipitation, and air quality.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Blazejczyk, K., Epstein, V., Jendritzky, G., Staiger, H., & Tinz, B. (2012). Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 515-535. doi:10.1007/s00484-011-0453-2
- [2] Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., . . . Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the universal thermal climate index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481-494. doi:10.1007/s00484-011-0454-1
- [3] Charalampopoulos, I., Tsiros, I., Chronopoulou-Sereli, A., & Matzarakis, A. (2013). Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in athens, greece. *Urban Ecosystems*, 16(2), 217-233. doi:10.1007/s11252-012-0252-5
- [4] Chen, V., & Matzarakis, A. (2014). Modification of physiologically equivalent temperature. *Journal of Heat Island Institute International* Vol. 9-2, 26-32.
- [5] Fanger, P. O. (1972). *Thermal comfort*. New York: Mc Graw Hill.
- [6] Farajzadeh, H. H. H. (2015). Comparison of selected thermal indices in the northwest of iran. *Nat. Environ. Change*, 1(1), 1-20.
- [7] Fröhlich, D., & Matzarakis, A. (2016). A quantitative sensitivity analysis on the behaviour of common thermal indices under hot and windy conditions in doha, qatar. *Theoretical and Applied Climatology*, 124(1), 179-187. doi:10.1007/s00704-015-1410-5
- [8] Herrmann, J., & Matzarakis, A. (2012). Mean radiant temperature in idealised urban canyons—examples from freiburg, germany. *International Journal of Biometeorology*, 56(1), 199-203. doi:10.1007/s00484-010-0394-1
- [9] Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71-75. doi:10.1007/s004840050118
- [10] Jendritzky, G., & Nübler, W. (1981). A model analysing the urban thermal environment in physiologically significant terms. *Archives for Meteorology, Geophysics, and Bioclimatology Series B*, 29(4), 313-326. doi:10.1007/BF02263308
- [11] Jendritzky, G., & Höppe, P. (2017). The UTCI and the ISB. *International Journal of Biometeorology*, 61(S1), 23-27. doi:10.1007/s00484-017-1390-5
- [12] Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 76-84. doi:10.1007/s004840050119
- [13] Matzarakis, A., Muthers, S., & Rutz, F. (2015). Application and comparison of UTCI and PET in temperate climate conditions. *Finisterra*, 49(98) doi:10.18055/Finis6453
- [14] Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 51(4), 323-334. doi:10.1007/s00484-006-0061-8
- [15] Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131-139. doi:10.1007/s00484-009-0261-0
- [16] Mayer, H., & Hoppe, P. (1987). Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, 38(1), 43-49. doi:10.1007/BF00866252
- [17] Urbano Terrón, P. (1989). *Tratado de fitotecnia general Mundi Prensa Libros S.A.* Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=21503>
- [18] Zare, S., Hasheminejad, N., Shirvan, H. E., Hemmatjo, R., Sarebanzadeh, K., & Ahmadi, S. (2018). Comparing universal thermal climate index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, 19, 49-57. doi:10.1016/j.wace.2018.01.004

El potencial de la rehabilitación energética a escala de distrito para la reducción de emisiones de CO₂ y fomentar regeneración urbana. IEA-EBC Annex 75

Potential of building renovation at district level for reducing CO₂ emissions and fostering urban regeneration. IEA-EBC Annex 75

Jon Terés-Zubiaga¹, Manuela G. Almeida², Ove Mørck³, Roman Bolliger⁴, David Venus⁵

ABSTRACT

La edificación es uno de los principales sectores con mayores emisiones de CO₂ en Europa. Así, uno de los objetivos principales en los edificios existentes es la reducción del consumo energético (y emisiones asociadas) de una forma coste-efectiva, siendo el principal reto (especialmente en ciudades) la transformación de dichos edificios en edificios de bajo consumo y bajas emisiones. Al mismo tiempo, existen oportunidades de desarrollar y aprovechar el potencial de soluciones a escala de barrio para acelerar la consecución de dicho objetivo. En este contexto, el Proyecto de la Agencia Internacional de la Energía Annex 75 ("Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables"), iniciado en 2017 y que se prolongará hasta el año 2021, y en el que participan 25 entidades de 13 países diferentes, tiene por objetivo desarrollar diversos enfoques y metodologías dirigidas a identificar soluciones coste-efectivas que combinen tanto la implementación de medidas de eficiencia energética como el suministro de energía desde fuentes renovables a escala de distrito. La primera sub-tarea, "Revisión de las tecnologías existentes y emergentes" compuesta por 4 paquetes de trabajo, tiene por objetivo realizar un análisis exhaustivo de las distintas opciones tecnológicas disponibles dirigidas a la rehabilitación de la envolvente del edificio y a la sustitución de los sistemas energéticos (para calor, refrigeración y ACS) en sistemas suministrados por fuentes renovables a escala de distrito. La segunda sub-tarea, "Metodología de optimización", compuesta a su vez de otros 4 paquetes de trabajo, se centra en el desarrollo de una metodología para definir e identificar estrategias coste-efectivas para la renovación de distritos con objetivos de superar los objetivos de reducción de gases de efecto invernadero y consumo energético. Esta sub-tarea tomará como referencia el trabajo desarrollado en el Annex 56, donde se desarrollaba una metodología similar dirigida en ese caso a edificios individuales. La sub-tarea C, "Casos de estudio", tiene por objetivo mostrar y evaluar las estrategias coste-efectivas de combinación de renovables con medidas de eficiencia energética en grupos de edificios, investigar factores que afectan a la elección de una determinada estrategia y recoger ejemplos de buenas prácticas. Para ello se vale de una selección de casos de estudio ubicados en distintos países europeos. Finalmente, la sub-tarea 4 "Instrumentos políticos, diálogo entre los distintos agentes y diseminación", tiene por objetivo identificar cómo desde los distintos agentes se puede promover y fomentar las combinaciones coste-efectivas de medidas de eficiencia e implementación de energías renovables a escala de distrito. Esta comunicación presentará los principales avances del proyecto hasta la fecha, así como los primeros resultados obtenidos, con especial atención al apartado de metodología y casos de estudio.

Key Words: Eficiencia energética en edificación, Integración Renovables, rehabilitación energética

(1) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, Faculty of Engineering of Bilbao, UPV/EHU, +34 94 601 7782, jon.teres@ehu.eus, (2) CTAC Research Center, Civil Engineering Department, School of Engineering, University of Minho, (3) Kuben Management A/S, Ellebjergvej 52, 2. sal. DK-2450. Copenhagen, (4) INDP (Institute for sustainability and Democracy Policy), Luzern, (5) AEE – Institute for Sustainable Technologies, Feldgasse 19. A-8200 Gleisdorf.

1. Introducción

El sector de la edificación representa el 40% del consumo de energía total de la Unión Europea y de un tercio de las emisiones de efecto invernadero [1]. En este contexto, toda acción dirigida a aumentar la eficiencia energética de la edificación y el suministro a partir de fuentes renovables puede considerarse de gran importancia en el reto de la mitigación del cambio climático.

Con este objetivo, la Unión Europea definió en 2007 el paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020, que establecía el 20/20/20 (20% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con los niveles de 1990, 20% de energías renovables en la UE, y 20% de mejora de la eficiencia energética) y la en octubre de 2014 se adoptó una revisión de estos objetivos (marco sobre Energía y Clima 2030). Estas estrategias implican el desarrollo de una serie de medidas legales y otros instrumentos dirigidas a lograr dichos objetivos. En relación a las políticas europeas en edificación, la Directiva 2012/27/EU de Eficiencia Energética [2] tiene por objetivo aumentar la eficiencia energética dentro de la UE para alcanzar el objetivo de ahorro del 20% del consumo de energía primaria para 2020. Esta Directiva remarca el potencial de ahorro que presentan los sistemas de distrito de calefacción y/o refrigeración, y urge a los estados miembros a desarrollar una evaluación exhaustiva de dicho potencial.

Pero antes, la refundición de la Directiva sobre Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD, por sus siglas en inglés) en el 2010 supuso un punto de inflexión en la senda hacia un parque edificatorio más sostenible. Esta directiva introdujo dos conceptos importantes: coste-eficacia y Edificios de Energía Casi Nula (nZEB) [3]. Estos dos conceptos, sin embargo, están centrados especialmente en edificios de nueva planta. Aún así, centrar todos los esfuerzos en los edificios de nueva planta no resulta suficiente para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de carbono y energía, teniendo en cuenta el peso que la obra nueva tiene frente al parque ya edificado [4]. Así, la rehabilitación energética de edificios existentes juega un papel fundamental en el objetivo de hacer frente al cambio climático a través de la reducción de emisiones. Estas rehabilitaciones deben considerar medidas de eficiencia energética, pero también tener en cuenta las oportunidades existentes de suministro energético desde fuentes de origen renovable, producidas in situ o en el entorno próximo [5]. En este contexto, el IEA-EBC lanzó en 2010 el proyecto "Annex 56: Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation", que implicó a 11 países europeos y tenía por objetivo desarrollar una metodología para facilitar la rehabilitación mediante la identificación del reparto óptimo entre medidas dirigidas a minimizar la demanda y medidas dirigidas a aumentar el suministro energético de origen renovable desde

1. Introduction

It is broadly known that buildings are responsible for 40% of the overall energy consumption in European Union, as well as one third of related global greenhouse gas emissions [1]. In this context, every action aimed to increase the energy efficiency of buildings, together with their supply from renewable energy sources, can be considered of great importance in the challenge of mitigating the effect of the climate change.

With this aim in mind, European Union defined in 2007 the 2020 climate and energy package, which sets the 20/20/20 (20% cut in greenhouse gas emissions from 1990 levels, 20% of EU energy from renewables, and 20% improvement in energy efficiency), and a revision of these targets (2030 Climate & Energy Framework) was adopted by the European Council in October 2014. These strategies involve the development of a set of different regulations and other instruments aimed to achieve the mentioned objectives. Respecting the European building policies, the Directive 2012/27/EU on energy efficiency [2] aims to increase the energy efficiency within the EU in order to achieve the objective of saving 20% of the primary energy consumption by 2020. This Directive highlights the significant potential for saving primary energy of district heating and cooling systems, and it urges the member states to carry out a comprehensive assessment of this potential.

But earlier, the turning point on the path towards more efficient building stock was the EPBD recast, where two important concepts were introduced: cost-optimality and the nearly Zero Energy Buildings [3]. These two concepts, however, are especially focused on new buildings. Focusing only on new buildings is not enough to achieve the carbon emissions reduction and energy targets, taking into account the low rates of replacement of the building stock in Europe [4]. Hence, energy renovation of existing buildings plays a key role on the overall objective of facing climate change by reducing carbon emissions. These renovations must consider energy efficiency measures, but also take into account opportunities that foster the implementation of supply from renewable energy sources, produced onsite or nearby [5]. With this background, IEA-EBC launched in 2010 the project "Annex 56: Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation", which involved 11 European countries, and aimed to develop a methodology to enable cost effective renovation of existing buildings by identifying the optimal range of "minimisation of demand" and "renewable energy supply" measures in a cost/benefit perspective. The project helped to understand how far it is possible to go with energy efficiency measures (usually less expensive measures) and from which point the energy supply from renewable sources become more economical [5]. The project ended in 2017 and several academic publications, directly

una perspectiva coste-eficiente. El proyecto ayudó a identificar el esfuerzo necesario en medidas dirigidas a la reducción de demanda (habitualmente menos caras) y desde qué momento el suministro de energía desde fuentes renovables resulta más económico [5]. El proyecto finalizó en 2017 y dio lugar a diversas publicaciones académicas [4, 6-11], así como a diversos informes que están disponibles en la página web del proyecto.

Al mismo tiempo, existen diversas oportunidades para desarrollar y aprovechar las ventajas de las rehabilitaciones a escala de barrio. Trabajar con grupos de edificios permite aprovechar las diversas interacciones existentes entre edificios diferentes, así como acelerar el proceso de reducción de consumo energético en el sector de la edificación. En este contexto, el IEA-EBC inició en 2017 un nuevo proyecto: "Annex 75: Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables". En este proyecto, que tiene previsto finalizar en 2022, participan 25 entidades de 13 países distintos y, en este caso, exploran las posibilidades de la rehabilitación desde una perspectiva coste-eficiencia, pero a escala de barrio. Esta comunicación presenta una visión general de este proyecto y el trabajo desarrollado hasta la fecha, con especial atención a la metodología y los casos de estudio.

2. Objetivos del ANNEX 75

El Annex 75 tiene por objetivo investigar oportunidades coste-eficientes dirigidas a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y del uso energético de los edificios a escala de barrio, centrándose en la combinación óptima entre medidas de eficiencia y medidas de implementación de energía renovable. Para ello, el proyecto define cuatro objetivos específicos: i) hacer un análisis global de las opciones de tecnología disponibles, teniendo en cuenta la tecnología existente y emergente con potencial de ser aplicada exitosamente en este contexto (sub-tarea A); ii) desarrollar una metodología para ser aplicada en el análisis de barrios dirigida a identificar las estrategias más coste-eficientes, sirviendo de apoyo a los distintos agentes involucrados en la rehabilitación (sub-tarea B); iii) mostrar el desarrollo de dichas estrategias en casos de estudio representativos y recolectar ejemplos de buenas prácticas (sub-tarea C); iv) y finalmente, dar recomendaciones a legisladores y otros agentes involucrados en cómo se puede fomentar la implementación de combinaciones coste-eficientes (sub-tarea D) [12]. El alcance del proyecto incluye las siguientes situaciones de inicio: (1) distritos urbanos con instalación previa de calefacción descentralizada de electricidad, gas u otros combustibles fósiles y/o refrigeración descentralizada a través de sistemas individuales; (2) distritos urbanos con conexión previa a sistemas de calefacción de distrito basados en combustible fósil; y (3) distritos urbanos previamente conectados a sistemas de calefacción de distrito suministrados en una parte

or indirectly linked to the activities developed in this project, can be found in the literature [4, 6-11], as well as the different reports which are available in the website of the project.

At the same time, there are specific opportunities to develop and take advantage of district-level solutions at urban scale. Working on building clusters allows taking advantage of the different interactions and synergies existing amongst different buildings, as well as quicken the process of reducing the energy consumption in building sector. In this context, IEA-EBC started in 2017 a new project "Annex 75: Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables". This new project (ending in 2022) involves 25 institutions from 13 different countries, and, in this case, it explores the opportunities of building renovations from a cost/benefit perspective but at district level. This communication presents a general overview of this project and the work carried out so far, with special attention to the methodology and case studies.

2. Objectives of ANNEX 75

The Annex 75 project aims to investigate cost-effective opportunities for reducing greenhouse gas emissions and energy use in buildings at district level, focusing on the optimal combination between energy efficiency measures and renewable energy measures. To do that, the project focuses on four specific objectives: i) to give an overview on various technology options, taking into account existing and emerging efficient technologies with potential to be successfully applied within that context (subtask A); ii) to develop a methodology to be applied to urban districts in order to identify such cost-effective strategies, supporting decision makers in the evaluation of the efficiency, impacts, cost-effectiveness and acceptance of various strategies for renovating urban districts (subtask B); iii) to illustrate the development of such strategies in selected case studies and gather related best-practice examples (subtask C); iv) and finally, to give recommendations to policy makers and energy related companies on how they can foster the uptake of cost-effective combinations (subtask D) [12]. The scope of the project includes the following three starting situations: (1) Urban districts with previously decentralised natural gas heating, oil or electricity, or decentralised cooling through individual cooling devices; (2) urban districts previously connected to district heating systems with a high share of fossil fuel; and (3) urban districts previously connected to district heating systems with a substantial share of renewable energy suppliers. A deeper description of each subtask, paying special attention to STB and STC, is presented in the following parts of this communication.

3. Subtask A. Technology overview

This subtask will provide an overview on the availa-

importante con energía renovable. En las siguientes partes de esta comunicación se presenta una descripción más detallada de cada sub-tarea, prestando especial atención a las STB y STC.

3. Sub-tarea A. Revisión de la tecnología

Esta sub-tarea desarrollará una revisión de las distintas opciones de tecnología disponibles para la rehabilitación de envolventes de edificios y para la sustitución de sistemas de refrigeración, calefacción y ACS a escala de distrito, en base a las aportaciones de los distintos países participantes en el proyecto. En base a la caracterización de medidas a escala de edificio, esta sub-tarea se centra en identificar posibilidades para desarrollar dichas medidas a escala de distrito. En relación a las medidas de eficiencia energética en la envolvente térmica, dichas opciones se refieren en particular a la rehabilitación coste-eficiente de grupos de edificios con estructura similar. En lo que respecta a medidas de implementación de energía renovable, se hace una distinción basada en si para un barrio determinado hay una instalación previa de calefacción de distrito, o si la calefacción y refrigeración se realizan de forma descentralizada. Para los sistemas de calefacción de distrito existentes, se desarrollan las medidas para transformarlos en sistemas basados en energía renovable. Para distritos con sistemas de calefacción y/o refrigeración descentralizados, se describen opciones para nuevos sistemas de distrito de alta o baja temperatura basados en energía renovable. Esta sub-tarea no está sólo centrada en la caracterización de las diferentes tecnologías disponibles, sino también en la identificación de potenciales, obstáculos e interdependencias entre medidas de eficiencia energéticas y medidas de implementación de renovables, así como en el análisis de futuros desarrollos.

4. Sub-tarea B. Metodología de optimización

La sub-tarea B se centra en el desarrollo de la metodología para definir estrategias coste-eficientes para la renovación de distritos urbanos en la línea de los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y el uso de energía. La metodología propuesta estará basada en la metodología previamente desarrollada para edificios individuales en el Annex 56, extendiéndola en este caso a agrupaciones de edificios. También utilizará como referencia los resultados obtenidos en otros anexes relacionados. Se prevé además el desarrollo de alguna herramienta o la adaptación de una ya existente para facilitar la aplicación de la metodología en el análisis de casos de estudio específicos. Las herramientas resultantes estarán centradas en servir de apoyo a las primeras fases de la toma de decisiones.

Además, dentro de este proyecto, la metodología será aplicada en cálculos genéricos, así como en

ble technology options for renovating building envelopes and for switching heating and cooling systems as well as DHW systems into renewable energy based systems in districts, collected by the different participating countries in the project. Based on a characterization of measures in single buildings, the work is focused on identifying opportunities for carrying out such measures at district level. Regarding energy efficiency measures on building envelopes, such options refer in particular to the cost-effective renovation of groups of buildings with a similar structure. As far as renewable energy measures are concerned, a distinction is made based on the question whether a district heating system is available in a given district, or whether heating and cooling is carried out decentrally. For existing district heating systems, measures are described for transforming them into renewable energy based district heating systems. For districts with decentralized heating and cooling, options are described for new high-temperature or low-temperature renewable energy based district heating systems. This subtask is not only focused on characterising different available technologies, but also on identifying potentials, barriers and interdependences between energy conservation measures and renewable energy measures, as well as analysing future developments.

4. Subtask B. Optimization methodology and strategy development

Subtask B aims to develop the methodology to define cost-effective strategies for renovating urban districts towards far-reaching objectives regarding the reduction of greenhouse gas emissions and energy use. The proposed methodology will be based on the methodology previously developed for individual buildings in Annex 56 extending it to the level of groups of buildings. Furthermore, it will also make use of results from other related Annexes. It is planned that based on the methodology developed, one or more existing tools are identified or previously existing tools are adapted to support the application of the methodology in case-specific assessments. The resulting tools are focused on serving as a support for preliminary decisions.

Moreover, within this project, the methodology will be applied and tested in generic calculations as well as in parametric calculations based on case studies. The application of this methodology will help to identify and characterize factors, such as energy density in a given area, affecting cost-effectiveness of renovation strategies for urban districts. In addition, it will be directed to identify synergies as well as trade-offs between renewable energy measures and energy efficiency measures, and between individual and collective solutions.

Like in Annex 56, energy savings of each evaluated scenario will be calculated in comparison to a "base

cálculos paramétricos basados en casos de estudio reales. La aplicación de esta metodología ayudará a identificar y caracterizar factores que puedan afectar al coste-eficiencia de estrategias de rehabilitación en distritos urbanos. Igualmente, se centrará en identificar sinergias y los puntos de equilibrio entre medidas de implementación de renovables y medidas de eficiencia energética, así como entre soluciones individuales y colectivas.

Al igual que en el Annex 56, los ahorros de cada escenario evaluado se calcularán en comparación a un "caso de referencia". Este caso será definido al inicio del análisis, e incluirá las acciones de rehabilitación que habría que desarrollar de cualquier modo, simplemente para mantener la funcionalidad del edificio. Se asume que dichas medidas no mejoran el comportamiento energético del edificio pero que, sin embargo, implican una serie de costes. Para sistemas de calefacción y refrigeración, se asumirá también una sustitución base en el caso de referencia. En este caso, se considera un aumento de la eficiencia energética en dicho caso de referencia. La Fig. 1 esquematiza la idea del caso de referencia [13].

La metodología desarrollada estará orientada a buscar respuesta a las siguientes preguntas: (1) ¿Cuáles son las combinaciones entre medidas de eficiencia energética e implementación de renovables más coste-eficientes en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de consumo energético en distritos urbanos? Y, en particular, ¿Cuáles son las estrategias coste-eficientes que combinan calefacción o refrigeración a escala de distrito basada en fuentes renovables disponibles en el entorno (calor ambiental, energía solar, calores residuales...) con medidas de eficiencia energética en la envolvente térmica de los edificios?; (2) ¿Cómo se comparan, en términos de coste-eficiencia e impactos, dichas estrategias con aquellas que combinan un sistema descentralizado basado en energías renovables con medidas de eficiencia energética en la envolvente de los edificios? Y, en particular, ¿En qué circunstancias son las soluciones descentralizadas en combinación con medidas de eficiencia energética en los edificios más ventajosas?; (3) ¿Qué factores determinan el equilibrio coste-eficiente entre medidas de eficiencia energética y medidas dirigidas a implementar energía renovable, cuando el objetivo es la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de consumo de energía primaria?; y finalmente, (4) ¿hasta qué punto difiere el coste-eficiencia de las medidas de rehabilitación de la envolvente térmica a escala de distrito del coste eficiencia de dichas medidas en el caso de hacerlo en edificios individuales con un sistema energético descentralizado basado en fuentes de energía renovable?

5. Sub-tarea C. Casos de estudio

Esta sub-tarea se centra en mostrar el desarrollo de estrategias coste-eficientes que combinan medidas

case". The reference case is defined at the beginning of the assessment. This "reference case" includes the type of renovation activities which would have to be carried out anyway, just to restore the building's functionality. It is assumed that these anyway measures do not increase the building's energy performance but they involve costs; if necessary, hypothetical assumptions are made about the costs for such measures. For heating systems, a replacement is also taken into account in the reference case. An increase in energy efficiency is thereby usually taken into account also in the reference case. Fig. 2 illustrates what is meant with an "anyway renovation" [13].

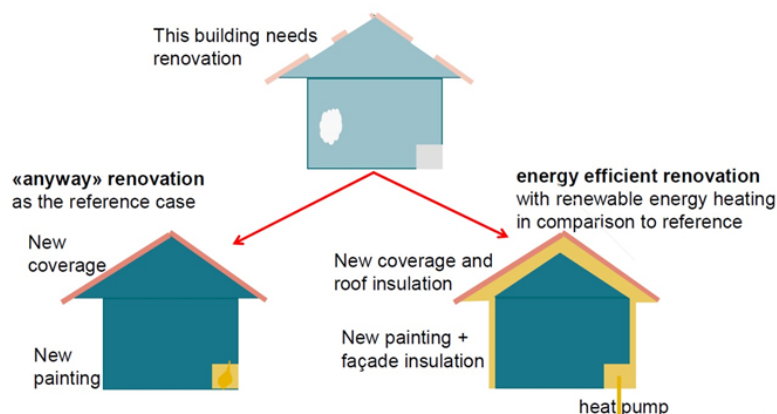
The methodology developed will be oriented to answer the following research questions: (1) What are cost-effective combinations between renewable energy measures and energy efficiency measures to achieve far-reaching reductions in greenhouse gas emissions and primary energy use in urban districts? And, in particular, what are cost-effective strategies to combine district-level heating or cooling based on available environmental heat, solar energy, waste heat or natural heat sinks, with energy efficiency measures on the buildings' envelopes?; (2) How do related strategies compare in terms of cost-effectiveness and impacts with strategies that combine a decentralized switching of energy carriers to renewable energies with energy efficiency measures on the buildings' envelopes? And, in particular, under which circumstances does it make sense to use available renewable energy potentials in cities at a district level, and under which circumstances are decentralised renewable energy solutions, in combination with energy efficiency measures on the buildings' envelopes, more advantageous?; (3) Which factors determine the cost-efficient balance between efficiency measures on the building envelopes and measures that promote the use of renewable energies, if far-reaching reductions in greenhouse gas emissions and primary energy use in urban districts are the target?; and finally, (4) to what extent does the cost-effectiveness of renovation measures on the building envelopes in the case of a local district heating system based on renewable energies differ from the cost-effectiveness of such measures in case of a decentralized use of renewable energy sources for heating in each individual building?

5. Subtask C. Case studies

This subtask is focused on showing the development of cost-effective strategies combining energy efficiency measures and renewable energy use in building renovation at district level, to investigate factors influencing the choice for a cost-effective strategy, and to gather related best-practice examples. Moreover, through the detailed assessment of selected case studies and successful stories, it aims to obtain information regarding the necessary framework conditions or policy instruments for facilitating the up-take of cost effective strategies for far-reaching

Figura 1.

Distinción entre medidas que habría que desarrollar de cualquier modo, y medidas de eficiencia energética. Una rehabilitación de mantenimiento, mostrada en la parte izquierda de la imagen, está dirigida a mantener la funcionalidad del edificio, sin mejoras de carácter energético. En una rehabilitación energética, mostrada en la parte derecha de la imagen, la rehabilitación aborda la cuestión de la funcionalidad y además mejora el comportamiento energético del edificio [13].



de eficiencia energética y de implementación de energía renovable a escala de distrito, para investigar los factores con mayor influencia en la elección de una estrategia adecuada, y reunir ejemplos de buenas prácticas. Además, a través del análisis detallado de diversos casos de estudio y casos de éxito, esta sub-tarea busca obtener información sobre las condiciones necesarias que se deben dar y qué instrumentos políticos existen o pueden desarrollarse para facilitar el desarrollo (y éxito) de estas estrategias, así como investigar el papel de los co-beneficios asociados. Esta sub-tarea se desarrollará en cuatro paquetes de trabajo diferenciados: el primero se centra en la identificación de casos de éxito en diferentes países, evaluando sus características específicas y extrayendo lecciones útiles para ser replicados en otras experiencias; un segundo paquete de trabajo se centra en el análisis paramétrico de diferentes casos de estudio; y el tercer y cuarto paquete de trabajo tienen por objetivo listar los factores que facilitan y los diferentes barreras existentes para replicar los casos de éxito, así como desarrollar una guía de buenas prácticas para la transformación de barrios existentes en barrios de bajas emisiones.

Así, el proyecto considera dos tipos diferentes de casos: los casos de éxito y casos de estudio. Los casos de éxito incluyen barrios que ya han sido (o están siendo actualmente) rehabilitados, mientras que los casos de estudio son barrios que presentan el potencial de ser rehabilitados, aunque aún no se haya proyectado una rehabilitación específica. Las principales diferencias entre ambos tipos se resumen en la Tabla 1. Los casos de éxito analizan situaciones reales, identificando su potencial para ser replicados, factores que lo facilitan, obstáculos posibles y lecciones aprendidas. En los casos de estudio elegidos, sin embargo, se recopila la información necesaria para desarrollar análisis paramétricos aplicando y evaluando la metodología desarrollada en la sub-tarea B. Los potenciales casos de estudio son barrios urbanos con necesidad de rehabilitación donde los resultados obtenidos puedan servir de guía en la elección de la estrategia de rehabilitación a seguir en cada barrio. Los casos de estudio y casos de éxito seleccionados hasta la fecha para ser evaluados se presentan en las Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, respectivamente.

renovations of districts, as well as to investigate the role of the associated co-benefits. Four different work packages are planned to be developed in this subtask: the first aims to identify success stories in different countries, evaluating their specific features and lessons learned to be replicated in other experiences; a second work package is focused on parametric assessments of different cases studies; and third and fourth work packages aim to list enabling factors and obstacles for replicating successful case studies and to develop good practice guidance for transforming existing districts into low-emission districts, respectively.

Then, two different types of cases are considered in the project: success stories, and case studies. Success stories include districts that have been already renovated (or they are being currently renovated), whereas case studies are districts that present the potential to be renovated, even though no specific renovation had been projected yet. The main differences between them are summarised in Table 1. Success stories aim to analyse real cases, identifying replicability potential, enabling factors and obstacles and barriers and extracting lessons learned. In the selected cases studies, however, the necessary data is gathered to carry out parametric assessments applying and evaluating the methodology developed in Subtask B. Potential case studies are existing urban districts with renovation needs where the results of case studies can provide guidance in choosing an appropriate renovation strategy for the respective district. The case studies and success stories selected to be evaluated so far are presented in Table 2, Table 3, and Table 4, respectively.

6. Subtask D. Policy instruments, stakeholder dialogue and dissemination

Finally, Subtask D aims to give recommendations to policy makers and local energy related companies about how they can foster the uptake of cost-effective combinations of energy efficiency measures and renewable energy measures in building renovation at district level. The subtask also aims to provide guidance to building owners. It includes a review on

CASOS DE ÉXITO	CASOS DE ESTUDIO
No tienen por qué seguir los criterios ni la metodología de la STB (número de edificios, tipología, densidad...)	Deben seguir los criterios y la metodología de la STB (número de edificios, tipología, densidad...)
Va han sido (o están siendo) renovados	No han sido aún renovados
No precisan de cálculos adicionales mediante la aplicación de la metodología de la STB	Se realizan cálculos detallados mediante la aplicación de la metodología de la STB

Tabla 1.
Principales diferencias entre casos de éxito y casos de estudio.

PAÍS	CASO DE ESTUDIO		
AUSTRIA	Dr. Karl Renner Ring, Liezen	Número de edificios	
		38	
		Área acondicionada	
		13,017	
NORUEGA	Furuset, Oslo	Número de edificios	
		-	
		Área acondicionada	
		260,000	
PORTUGAL	Vecindario de Santa Tecla, Braga	Número de edificios	
		8	
		Área acondicionada	
		3,925	
PORTUGAL	Residencial Picoto, Braga	Número de edificios	
		7	
		Área acondicionada	
		2,300	
ESPAÑA	Adurtza, Vitoria-Gasteiz	Número de edificios	
		249	
		Área acondicionada	
		286,094	
ESPAÑA	Abetxuko, Vitoria-Gasteiz	Número de edificios	
		133	
		Área acondicionada	
		178,388	
ESPAÑA	Otxarkoaga, Bilbao	Número de edificios	
		114	
		Área acondicionada	
		220,320	

Tabla 2.
Casos de estudio seleccionados para ser analizados en el Annex 75.

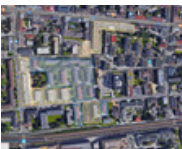




PAÍS	CASO DE ESTUDIO		
AUSTRIA	Strubergasse	Número de edificios	
		14	
		Área acondicionada	
		42,000	
DINAMARCA	Aalborg	Número de edificios	
		1228	
		Área acondicionada	
		120,000	
ITALIA	Valdastico	Número de edificios	
		4	
		Área acondicionada	
		4,013	
ITALIA	Turin	Número de edificios	
		-	
		Área acondicionada	
		-	
ITALIA	Sangallo	Número de edificios	
		3	
		Área acondicionada	
		3,661	

Tabla 3. Casos de éxito seleccionados para ser analizados en el Annex 75.






PAÍS	CASO DE ESTUDIO		
PORTUGAL	Boavista	Número de edificios	
		28	
		Área acondicionada	
		80,000	
PORTUGAL	Rainha D. Leonor	Número de edificios	
		25	
		Área acondicionada	
		5,000	
PORTUGAL	Vila D'Este	Número de edificios	
		109	
		Área acondicionada	
		126,000	
SUECIA	Malmö	Número de edificios	
		6 (276 apartamentos)	
		Área acondicionada	
		-	
SUECIA	Lünd	Número de edificios	
		14	
		Área acondicionada	
		11,956	

Tabla 4. Casos de éxito seleccionados para ser analizados en el Annex 75 (continuación).

6. Sub-tarea D. Instrumentos políticos, diálogo entre agentes y difusión

Finalmente, la sub-tarea D tiene por objetivo dar recomendaciones a administraciones y compañías energéticas locales sobre cómo promover la implementación de combinaciones coste-eficientes de medidas de eficiencia energética y medidas de implementación de renovables en la rehabilitación de edificios a escala de distrito. Esta sub-tarea también busca servir de guía a los propietarios de los edificios. Incluye una revisión de instrumentos políticos, modelos de negocio para el diálogo entre agentes, así como el desarrollo de diversas guías que reúnan recomendaciones para la promoción de estrategias a escala de distrito para legisladores y compañías implicadas, y guías para propietarios e inversores sobre estrategias de rehabilitación coste-eficiente.

7. Ejemplo de caso de estudio: el barrio de Otxarkoaga, en Bilbao

A modo de ejemplo, en este apartado se presenta uno de los casos de estudio que va a ser evaluado en este proyecto. El caso de estudio es el barrio de Otxarkoaga, ubicado en Bilbao. El área estudiada (representada en la Fig. 2) abarca unas 24 HA. La gran parte de Otxarkoaga se construyó en apenas 2 años (1959-1961), cuando se proyectaron y levantaron las 3672 viviendas distribuidas en 114 edificios. Además, se realizó una rehabilitación significativa en el barrio

policy instruments, business models and models for stakeholder dialogue, as well as the development of different guidebooks, gathering guidelines for policy makers and energy related companies on how to encourage the implementation of cost effective strategies at district level, as well as guidelines for owners and investors about cost-effective renovation strategies.

7. An example of the case study: Otxarkoaga district in Bilbao

As an example, following, one of the case studies to be evaluated in this project is presented. The case study is Otxarkoaga district, located in the eastern part of Bilbao. The selected area to be studied (depicted in Fig. 3) is about 24 HA. The main part of Otxarkoaga District was entirely built up in barely two years (1959-1961), when 3672 apartments distributed in 114 buildings were projected and constructed, and an important renovation was carried out in the district in the eighties, promoted by the city council. Even though some buildings have been renovated in the last years, a base case based on the construction features of the envelope resulted after the renovation works carried out in the eighties, will be assumed for this study. Based on the data provided by Bilbao Social Housing, the assumed construction for façade presents an U-Value of 0.74 W/m².K, and for the roof the U-value is 2.27 W/m².K (detail description of the envelop is presented in [14]). The main parameters of windows are summarised in Table 5.

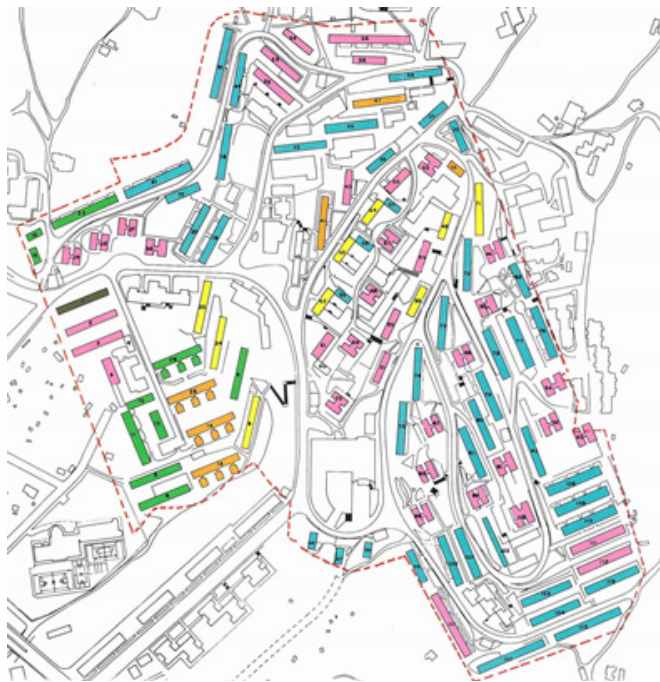


Figura 2.
Planta del barrio analizado.

MARCO (30%)	U_{marco} [W/m ² .K]	VIDRIO	U_{vidrio} [W/m ² .K]
Metálico sin rotura de Puente térmico	5.7	4/6/4	3.44

Tabla 5.
Ventanas consideradas en el modelo de TRNSYS.

en la década de los 80. Aunque algunos edificios han sido rehabilitados en los últimos años, para este estudio se tomará como caso de referencia las características de la envolvente resultantes tras la mencionada renovación realizada en la década de los 80. Según la información facilitada por Viviendas Municipales de Bilbao, la construcción de la fachada presenta un valor de U de 0.74 W/m².K, y la cubierta de 2.27 W/m².K. (se puede encontrar una descripción detallada de la envolvente térmica de estos edificios en [14]). Los parámetros principales de las ventanas se resumen en la Tabla 5.

Asumidas dichas características constructivas, y con el objetivo de optimizar el proceso de cálculo de demanda de calefacción, los distintos edificios del barrio han sido clasificados de acuerdo a su morfología (ver Fig. 3). En base a esta clasificación, se calcula la demanda agregada de calefacción mediante simulaciones dinámicas realizadas con TRNSYS. Aspectos como la posición relativa del edificio en el distrito y su influencia en las ganancias solares no se consideran en este cálculo general.

Assuming those construction features, and with the aim of optimising the demand calculation process, the buildings comprised in the district have been classified according to their morphology (see Fig. 4). Based on this classification, the aggregated heating demand is calculated by dynamic simulation using TRNSYS software. There are some aspects, such as the relative position of each building in the district and its influence on solar gains, that will not be taken into consideration.

Eight different scenarios for conservation measures in the envelope will be considered. (see Table 6). The reduction of energy demand associated to each measure is calculated in the same way as in the base case. Heating demand for each scenario in each typology is depicted in Fig. 5. Thermal energy demand for DHW will be assumed as 27.47 kWh/m².year, based on the amount of apartments (3384), assuming 4 people per apartment according to the number of bedrooms per apartment (3, in the majority of the cases) and 28l/person-day and considering a centralization factor of 0.7, as Spanish regulation fixes [15]. An electricity demand of 35 kWh/m².year has been assumed. No cooling needs will be considered.

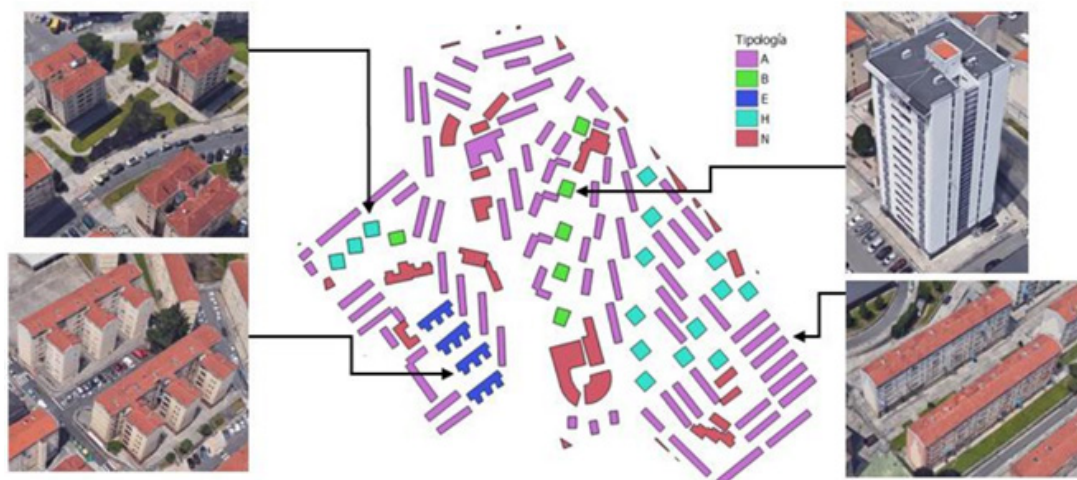


Figura 3. Morfologías de edificio identificadas en Otxarkoaga.

Se analizaran 8 escenarios diferentes de rehabilitación de la envolvente (ver Tabla 6). La reducción de la demanda de calefacción asociada a cada medida es calculada de la misma forma que el caso de referencia. La demanda de calefacción de cada escenario en cada una de las tipologías s presenta en la Fig. 4. Se asume una demanda de energía para ACS de 27.47 kWh/m².año, en base al número de viviendas (3384), asumiendo 4 personas por vivienda de acuerdo al número de habitaciones (3 por vivienda, en la mayoría de los casos) y 28 l/persona-día y considerando un factor de centralización del 0.7, según estipula el CTE [15]. Se asume una demanda de electricidad de 35 kWh/m².año. No se considera demanda de refrigeración.

Based on these results, aggregated energy demand for DHW, heating and electricity can be estimated for each scenario, and different energy systems technologies, based on the overview developed in Subtask A will be evaluated. Thus, the total energy demand for the whole district in each scenario is presented in Table 7.

Finally, possible topology of the district heating network is defined. A detailed definition of a network of these characteristics, which requires a detailed analysis of the situation, is out of the scope of this study. However, it is necessary the definition of a realistic proposal in order to make an estimation of the investment required, both for distribution and for the building where heat generators will be located.

	SIN CAMBIAR VENTANAS		CAMBIANDO VENTANAS	
Edificio actual (sin rehabilitación energética de la envolvente)	ESCENARIO 0	INVERSIÓN TOTAL 0 €	ESCENARIO 4	INVERSIÓN TOTAL 53086 €
	Fachada actual (U=0.74 W/m ² .K)	0 €	Fachada actual (U=0.74 W/m ² .K)	0 €
	Cubierta actual (U=2.27 W/m ² .K)	0 €	Cubierta actual (U=2.27 W/m ² .K)	0 €
	Ventanas actuales (U=4.12 W/m ² .K)	0 €	Ventanas 6/12/6 + PVC (U=2.76 W/m ² .K)	53086 €
Renovación "BAU" (Business As Usual)	ESCENARIO 1	INVERSIÓN TOTAL 15271 €	ESCENARIO 4	INVERSIÓN TOTAL 68357 €
	Fachada +6 cm aislamiento. (U=0.43 W/m ² .K)	11074 €	Fachada +6 cm aislamiento. (U=0.43 W/m ² .K)	11074 €
	Cubierta +6 cm aislamiento. (U=0.53 W/m ² .K)	4197 €	Cubierta +6 cm aislamiento. (U=0.53 W/m ² .K)	4197 €
	Ventanas actuales (U=4.12 W/m ² .K)	0 €	Ventanas 6/12/6 + PVC (U=2.76 W/m ² .K)	53086 €
Renovación "escenario mejorado"	ESCENARIO 2	INVERSIÓN TOTAL 23123 €	ESCENARIO 6	INVERSIÓN TOTAL 93259 €
	Fachada +8 cm aislamiento. (U=0.36 W/m ² .K)	14433 €	Fachada +8 cm aislamiento. (U=0.36 W/m ² .K)	14433 €
	Cubierta +14 cm aislamiento. (U=0.26 W/m ² .K)	8690 €	Cubierta +14 cm aislamiento. (U=0.26 W/m ² .K)	8690 €
	Ventanas actuales (U=4.12 W/m ² .K)	0 €	Ventanas 3/12/3 Low-e + PVC (U=1.89 W/m ² .K)	70133 €
Renovación "alto estándar"	ESCENARIO 3	INVERSIÓN TOTAL 23123 €	ESCENARIO 7	INVERSIÓN TOTAL 122366 €
	Fachada +14 cm aislamiento. (U=0.24 W/m ² .K)	25610 €	Fachada +14 cm aislamiento. (U=0.24 W/m ² .K)	25610 €
	Cubierta +20 cm aislamiento. (U=0.19 W/m ² .K)	12156 €	Cubierta +20 cm aislamiento. (U=0.19 W/m ² .K)	12156 €
	Ventanas actuales (U=4.12 W/m ² .K)	0 €	Ventanas 4/16/4/16/4/16 + PVC (U=1.15 W/m ² .K)	84600 €

Tabla 6.
Escenarios asumidos.

En base a estos resultados, se calcula la demanda agregada de ACS, calefacción y electricidad para cada escenario, y dicha demanda se utilizará como referencia en la evaluación de las distintas posibilidades tecnológicas dirigidas a cubrir esa demanda, en base a la revisión y caracterización presentada por la STA. La demanda de energía para el distrito completo se presenta en la Tabla 7.

Finalmente, se define una posible topología para la red de distrito. Queda fuera del alcance de este es-

Thus, the district heating network depicted in Fig. 6 will be assumed for this project, based on the study presented in [16].

8. Conclusions

Existing building renovation plays a key role on reducing carbon emissions, and doing it at district level allows taking advantage of the synergies existing amongst different buildings and it gets faster the process of reducing the energy consumption in

tudio una definición detallada de una red de estas características, que requeriría un análisis detallado de la situación. Sin embargo, al mismo tiempo, es necesaria la definición de una propuesta realista para hacer una estimación de la inversión requerida, tanto para la propia distribución como para la construcción del edificio donde van a ubicarse los generadores de calor. Así, para este estudio se asume la red de distrito representada en la Fig. 5, basada a su vez en el trabajo presentado en [16].

the building sector. The final objective of the project "Annex 75: Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables" is to develop general guidelines for policymakers and other stakeholders that allow carrying out an effective transition to a low-carbon economy in this sector. The project aims to obtain a general view on existing and emerging technologies, as well as the main potential and barriers related to them. The development of a methodology and specific

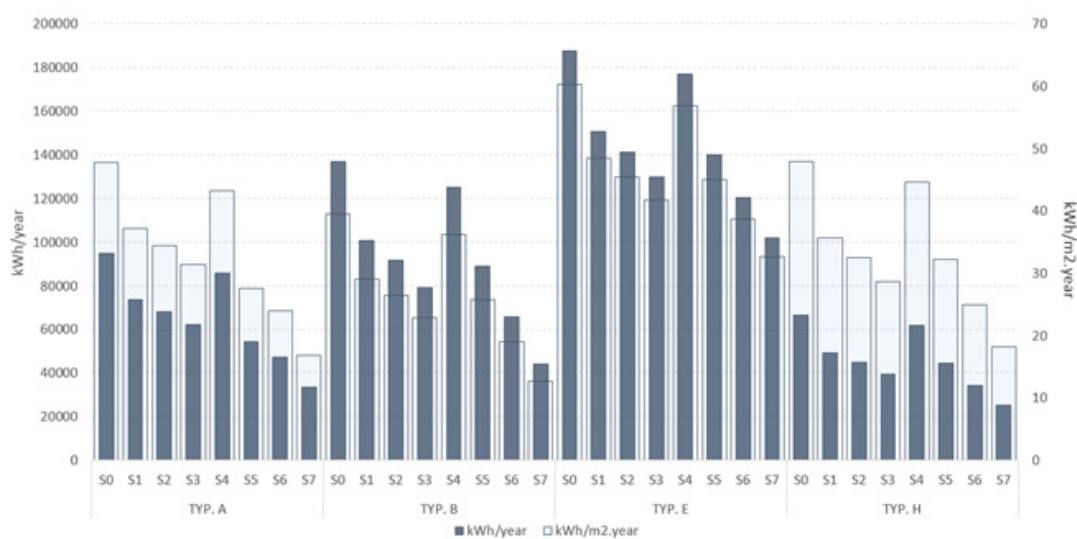


Figura 4. Demanda de calefacción para cada tipología considerada en cada uno de los 8 escenarios asumidos .

Tabla 7. Demanda de energía agregada para calefacción, electricidad y ACS.

Área acondicionada: 187.629,1 m ²	CALEFACCIÓN		ELECTRICIDAD	ACS
	Escenarios	(kWh/m ² año)		
	S0	44.46	8,342,647	6,567,018.5
	S1	32.99	6,190,011	
	S2	30.15	5,657,590	
	S3	26.29	4,932,445	
	S4	40.87	7,667,878	
	S5	29.39	5,514,343	
	S6	22.21	4,167,432	
	S7	15.47	2,902,763	



Figura 5.
Propuesta de la red de calefacción de distrito.

8. Conclusiones

La rehabilitación de edificios juega un papel fundamental en la reducción de las emisiones de carbono, y hacerlo a escala de barrio permite aprovechar las sinergias existentes entre diferentes edificios y acelerar el proceso de reducción de consumo de energía en el sector de la edificación. El objetivo final del proyecto "Annex 75: Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables" es desarrollar unas guías generales para legisladores y otros agentes que permitan desarrollar una transición efectiva hacia una economía baja en carbono en este sector. El proyecto busca obtener una visión general de las tecnologías existentes y emergentes, así como de sus principales potenciales y obstáculos. También considera el desarrollo de una metodología y herramientas específicas dirigidas a su aplicación para identificar las soluciones más adecuadas en áreas urbanas diferentes, teniendo en consideración aspectos tanto técnicos como económicos, usándola para evaluar mejoras potenciales en una variedad de barrios y casos de estudio localizados en los diferentes países participantes. El proyecto también recolectará diferentes casos de estudio a lo largo de Europa. Toda la información recogida y generada estará disponible de forma gratuita en la web del proyecto (<http://annex75.iea-ebc.org/>).

tools is also considered, aimed to be applied to identify the most suitable solutions in different urban areas, taking into consideration both technical and economic issues, using it for evaluate the potential improvements of several districts and case studies located in the different participating countries. The project will also collect different successful stories across Europe. All information collected and generated will be freely available in the project website (<http://annex75.iea-ebc.org/>).

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] European Commission, Energy, transport and environment indicators. Eurostat (2012).
- [2] European Commission, Directive 2012/27/EU on Energy Efficiency (2012).
- [3] European Commission, Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings (2010).
- [4] O. Mørck, M. Almeida, M. Ferreira, N. Brito, K.E. Thomsen, I. Østergaard, Shining examples analysed within the EBC Annex 56 project, *Energy Build.* 127 (2016) 991-998.
- [5] IEA-Annex 56, IEA-Annex 56: Cost Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation (2011-2015), IEA-Annex 56. 2015 (2015).
- [6] O. Morck, M. Almeida, M. Ferreira, N. Brito, K.E. Thomsen, I. Østergaard, Shining Examples Analysed within the EBC Annex 56 Project, *Energy Procedia.* 78 (2015) 2334-2339.
- [7] S. Domingo-Irigoyen, A. Sánchez-Ostiz, J.S. Miguel-Bellod, Cost-effective Renovation of a Multi-residential Building in Spain through the Application of the IEA Annex 56 Methodology, *Energy Procedia.* 78 (2015) 2385-2390.
- [8] Å Blomsterberg, E. Pedersen, Tenants Acceptance or Rejection of Major Energy Renovation of Block of Flats – IEA Annex 56, *Energy Procedia.* 78 (2015) 2346-2351.
- [9] K.E. Thomsen, J. Rose, O. Morck, S.Ø Jensen, I. Østergaard, Energy Consumption in an Old Residential Building Before and After Deep Energy Renovation, *Energy Procedia.* 78 (2015) 2358-2365.
- [10] M. Almeida, A. Bencresciuto, M. Ferreira, A. Rodrigues, Cost-effective Energy and Carbon Emission Optimization in Building Renovation – A Case-Study in a Low Income Neighbourhood, *Energy Procedia.* 78 (2015) 2403-2408.
- [11] F. Cappelletti, T.D. Mora, F. Peron, P. Romagnoni, P. Ruggeri, Building Renovation: Which Kind of Guidelines could be Proposed for Policy Makers and Professional Owners?, *Energy Procedia.* 78 (2015) 2366-2371.
- [12] IEA EBC Annex 75, IEA EBC Annex 75 - Cost-effective Building Renovation at District Level Combining Energy Efficiency & Renewables.
- [13] W. Ott, R. Bolliger, V. Ritter, S. Citherlet, S. Lasvaux, D. Favre, B. Périsset, M. Almeida, M. Ferreira, S. Ferrari, Methodology for Cost-Effective Energy and Carbon Emissions Optimization in Building Renovation (Annex 56). Report produced within the IEA's Energy in Buildings and Communities Programme, Annex 56, <http://www.iea-annex56.org>. [Last accessed 2019-06-06] (2017).
- [14] J. Terés-Zubiaga, A. Campos-Celador, I. González-Pino, C. Escudero-Revilla, Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain, *Energy Build.* 86 (2015) 194-202.
- [15] Ministerio de Vivienda. Gobierno de España, Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, (Código Técnico de la Edificación) (2006) Sección 1. 11816-11831.
- [16] E. Iturriaga Hidalgo, Desarrollo de un método simple para la optimización del diseño de las instalaciones en edificios residenciales de consumo energético casi nulo en el País Vasco (2017).

Integración de la perspectiva de ciclo de vida en los sistemas de gestión medioambiental del sector de la construcción

Integration of life cycle thinking in the environmental management systems of the building sector

Naiara Uriarte-Gallastegi¹, Beñat Landeta-Manzano¹, Germán Arana-Landín²

ABSTRACT

En los últimos años las empresas se encuentran con la necesidad de modificar y adaptar su modelo de gestión ambiental tradicional con objeto de adaptarse con rapidez y satisfacer las expectativas de un mercado que demande productos ambientalmente más sostenibles. Prueba de ello, es la inclusión de la perspectiva de ciclo de vida en la norma ISO 14001:2015 que no había sido considerada hasta el momento. Esta perspectiva incluye algunos elementos, principalmente en la fase de uso y fin de vida, que vendrán determinados en gran medida por aspectos que la empresa no puede controlar como puede ser la evolución tecnológica y a los que se tiene que adaptar.

En este proceso de adaptación, la mejora continua en la gestión empresarial cobra un papel fundamental ya desde la fase de diseño en los estudios de arquitectura. Resultan necesarios cambios en la forma de acometer los proyectos con la adopción de una serie de directrices y herramientas de ecodiseño que contribuyan a integrar la componente ambiental con una perspectiva de ciclo de vida.

Keywords: Diseño de Producto; Sostenibilidad Medio Ambiental; Pensamiento de Ciclo de Vida.

1. Introducción

Nuestra civilización es la principal causa de la degradación ambiental acelerada que está sufriendo nuestro planeta desde el inicio de la Revolución Industrial impulsada por Inglaterra en el siglo XIX (Goudie, 2018). El sector de la construcción es uno de los grandes responsables del consumo mundial de energía y recursos y tiene un impacto ambiental significativo (Hollberg et.al., 2016). Para abordar esta cuestión la adopción de un enfoque de ciclo de vida es fundamental para desarrollar soluciones globales, aun cuando resulten en el traslado de impactos ambientales de unas fases del proyecto a otras (ISO, 2011).

En la literatura existen numerosos casos de herramientas desarrolladas para facilitar el proceso de diseño y desarrollo de proyectos por parte de los estudios de arquitectura, incluso sistemas de información al cliente como las eco-etiquetas o sistemas de certificación LEED o BREEAM (Lamé et al., 2017). Algunos trabajos de investigación se centran en casos, con el fin de averiguar qué motiva y qué impide al arquitecto adoptar esas herramientas de apoyo (Arana et al., 2012; Arana et al., 2013; Landeta et al., 2013). Otras investigaciones tratan de identificar dónde y cuándo serían útiles las herramientas disponibles para realizar ciertas tareas durante el proceso de diseño del edificio (Rodrigues et al., 2017). No obstante, la adopción de prácticas de ecodiseño para la mejora de la sostenibilidad ambiental de los edificios debe estar sustentada en la integración y sistematización de la variable ambiental desde una óptica de ciclo de vida del proyecto al más alto nivel en la organización (Pigosso, 2012).

Teniendo en cuenta estos antecedentes, en la presente investigación, se ha estudiado cómo han adoptado los estudios de arquitectura la perspectiva de ciclo de vida e integrado la variable ambiental en el proceso de diseño y desarrollo, en el propio sistema de gestión de la empresa, así como el impacto de la misma a nivel operativo y en los resultados empresariales. Por lo tanto, las preguntas de la investigación fueron englobadas en tres grupos: las motivaciones de los estudios de arquitectura, el proceso de integración del enfoque de ciclo de vida en el proceso de diseño para el medioambiente, y los resultados empresariales obtenidos.

Con estos objetivos el presente artículo se ha estructurado en 5 apartados. A continuación de esta introducción, se presenta la metodología de investigación. En la sección 3, los resultados del análisis cruzado de casos, en la cuarta, las conclusiones de interés para profesionales y especialistas académicos, y por último, las referencias utilizadas en la presente investigación.

1. Introduction

Our civilization is the main cause of the accelerated environmental degradation that our planet is suffering, since the beginning of the Industrial Revolution driven by England in the 19th century (Goudie, 2018). The construction sector is one of the main responsible for the global consumption of energy and resources and has a significant environmental impact on Earth (Hollberg et.al, 2016). To address this issue, the adoption of a life cycle approach is essential to develop global sustainable solutions, even when they result in the transfer of environmental impacts from one phase of the project to another (ISO, 2011).

In the literature, there are numerous cases of tools developed to facilitate the process of design and development of projects by architecture firms, including customer information systems such as eco-labels or LEED or BREEAM certification systems (Lamé et al., 2017). Some research works focus on cases, in order to find out what motivates and what prevents the architect from adopting these support tools (Arana et al., 2012; Arana et al., 2013; Landeta et al., 2013). Other research attempts to identify where and when the tools available would be useful to perform certain tasks during the building design process (Rodrigues et al., 2017). Nevertheless, the adoption of eco-design practices must be based on the integration and systematization of the environmental variable from the perspective of the life cycle at the highest level in the organization (Pigosso, 2012).

Taking into consideration these aspects, in our research, we have focused on how the architecture firms have adopted and integrated the environmental variable from the life cycle perspective into the design and development process, into the firm's own management system, as well as the impact at the operational level and in business results. So the central research questions were classified into three groups: the motivations of architecture firms, the integration process of the life cycle approach in the design process for the environment, and the business results obtained by firms.

With this aim, this paper is structured in 5 sections. After this introduction, the research methodology is introduced, in section 3 the results and cross analysis of the cases are shown, in section 4 the conclusions of interest for professional and academics are presented and in the last, the references are indicated.

2. Methodology

Research process began with the review of the existing literature on life cycle thinking and its adoption in architecture firms through eco-design practices. We made a first approach to the research problem and so we made an approach to both the design of the research and the research questions.

2. Metodología

El proceso inicial de la investigación consistió en la revisión de la literatura existente sobre el pensamiento de ciclo de vida y su adopción en los estudios de arquitectura a través de prácticas de ecodiseño. Ello permitió la obtención de una primera aproximación al problema de investigación y realizar un planteamiento adecuado, tanto del diseño de la investigación, como de las preguntas centrales de investigación.

Esta investigación sigue un modelo de estudio de casos múltiple de carácter holístico aplicado a los estudios de arquitectura de la CAPV, que analizan y adoptan de forma sistemática soluciones ambientalmente sostenibles en sus diseños, pensando en todo el de ciclo de vida de proyectos (ver Fig. 1).

This research follows a holistic multiple case study model applied to the architecture firms from the Basque Country, which systematically analyze and adopt environmentally sustainable solutions in their designs, considering the entire life cycle of projects (see Fig. 1).

The selection of cases was based on a theoretical and logical sampling, not statistical and random. We tried to choose those cases that offered greater accessibility to the information and an adequate disposition by Top Management and / or staff directly involved in the eco-design process. For confidentiality reasons, these cases were treated anonymously under fictitious names.



Figura 1. Esquema del proceso de investigación. Fuente: Elaboración propia.

La selección de casos se basó en un muestreo teórico y lógico, no estadístico y aleatorio. Se trató de escoger aquellos casos que ofrecían una mayor accesibilidad a la información y una disposición adecuada por parte de personal directivo y/o con mayor implicación directa de empresas en el proceso de ecodiseño. Por razones de confidencialidad estos casos se trataron de forma anónima con nombres ficticios.

Posteriormente, se optó por establecer medios viables para la realización del estudio cualitativo:

- Entrevistas en profundidad con miembros técnicos, encargados, jefes o coordinadores del área de ecodiseño de la empresa, de acuerdo a un guion semiestructurado.
- Análisis de múltiples fuentes de evidencia (memorias, documentación técnica, comunicaciones internas, visita in situ de los estudios de arquitectura...).

Finalizada la caracterización de los casos investigados, se llevó a cabo el análisis individual de los casos que consistió en examinar, categorizar, tabular y examinar la evidencia recogida y la triangulación de la información (Binda, et al., 2013). Se identificaron patrones comunes de comportamiento entre los

Afterwards, it was decided to establish viable means to carry out the qualitative study:

- In-depth interviews with technicians and managers of eco-design area, and CEOs, conducted following a semi-structured script.
- Analysis of multiple sources of evidence (memories, technical documentation, internal communications, on-site visits to architecture firms ...).

Once the characterization of the cases investigated was completed, the individual analysis of the cases was carried out, which consisted in examining, categorizing, tabulating and examining the collected evidence, and the triangulation of the information (Binda, et al., 2013). Common patterns of behavior were identified between the cases and connection between the data and the research proposals was determined.

Finally, results were shared with experts in the area, as support to classify and complete some of the comments collected during the field phase and try to resolve doubts in the first analytical approaches to the object of study (Miles et al., 2014).

casos y se determinó la conexión entre los datos y las proposiciones realizadas.

Finalmente, se compartieron los resultados de la fase del estudio de casos con especialistas en el área, pero ajenos a las empresas, como apoyo para clasificar y completar algunos de los comentarios recogidos durante la fase de campo y tratar de resolver dudas aparecidas en las primeras aproximaciones analíticas al objeto de estudio (Miles et al., 2014).

3. Resultados. Análisis cruzado de casos

Todas las empresas entrevistadas del sector de la construcción eran estudios de arquitectura y todas microempresas: Gorbea, Txindoki y Zalama. De hecho, más del 90% de los estudios de arquitectura a febrero de 2019 (Ihobe, 2019), tras adoptar prácticas de ecodiseño, disponen de certificados de gestión ambiental, como puede ser la ISO 14001:2015 y/o ISO 14006:2011. Ello ha sido posible en gran medida, gracias a las políticas de promoción, como el programa de ayuda de mejora de la calidad y la gestión empresarial Eraikal, impulsado desde el año 1998 por el Departamento de Vivienda del Gobierno Vasco o los distintos programas de asistencia empresarial en materia medio ambiental impulsados por IHOBE.

En Gorbea apuntan a que la fuerte competencia surgida del boom de la construcción en España provocó la adopción de prácticas de ecodiseño, que aportarían competitividad a los estudios y con objeto de mejorar su posicionamiento en concursos públicos y, en la mayoría de los estudios entrevistados, la propia dirección impulsó las prácticas de ecodiseño. De hecho, en todos los casos la dirección apoyó el proceso, querían dar una mejor respuesta a las demandas de clientes, tanto públicos como privados, cada vez más concienciados con la problemática ambiental. Otra de las razones que motivaron la integración de las prácticas de ecodiseño con un enfoque de ciclo de vida en el sistema de gestión de las organizaciones, fue la aparición de legislación ambiental específica en el sector que requirió la elaboración de procedimientos, registros e indicadores específicos de ecodiseño. No obstante, muchos estudios de arquitectura no tienen una estructura empresarial importante, lo cual puede impedir en parte la adopción de prácticas de ecodiseño con un enfoque de ciclo de vida.

A continuación, se presenta el análisis comparativo del comportamiento de las empresas investigadas en lo relativo a las motivaciones internas y externas, al proceso seguido y a los resultados de la adopción de prácticas de ecodiseño con un enfoque de ciclo de vida, según las proposiciones establecidas anteriormente. Este análisis se presenta en las tablas 1, 2 y 3, aplicando el procedimiento analítico de identificación y contrastación o no de distintos patrones previstos o "pattern-matching" (Miles et al., 2014).

3. Results. Cross-analysis of cases

All the companies interviewed of the construction sector were architecture firms and all of them were micro-companies: Gorbea, Txindoki, and Zalama. In fact, more than 90% of these architecture studios in the construction sector up to February 2019 were micro-architecture firms, which after adopting eco-design practices, have environmental management certificates, such as ISO 14001: 2015 and / or ISO 14006: 2011. This has been possible largely thanks to the promotion public policies, such as the Eraikal quality improvement and business management assistance program, promoted since 1998 by the Basque Government and the different assistance programs for environmental management promoted by IHOBE.

Gorbea points out that the strong competition arising from the construction boom prior to 2008 in Spain led to the adoption of eco-design practices to improve the competitiveness of the studios and their positioning in public tenders. In all cases, the Top Management supported the process; they wanted to give a better response to the demands of customers, both public and private, increasingly aware of environmental problems. Another reason that motivated the integration of eco-design practices in the management system of organizations was the appearance of specific environmental legislation in the sector, which required the development of specific procedures, records and indicators.

Nevertheless, many architecture firms do not have an important business structure, which may partially avoid the adoption of eco-design practices from a life cycle approach.

The following is a comparative analysis of the behavior of the companies analyzed in relation to internal and external motivations, the process followed and the results of the adoption of eco-design practices. This analysis is presented in tables 1, 2 and 3, applying the analytical procedure of identification and contrast expected patterns ("pattern-matching" procedure) (Miles et al., 2014).

In the three cases analyzed, Txindoki, Gorbea and Zalama, evidence of integration at the strategic level of environmental and social awareness was observed.

Regarding the process of adoption of eco-design practices, in all three cases they have seen the same difficulties when identifying and evaluating environmental aspects and impacts. The firms point out it is necessary to find a valid comparison reference to evaluate the reduction of the impact on the environment. There is not yet a set of magnitudes widely accepted to assess the environmental behavior of a building and the techniques for future deconstruction of buildings are unknown. That makes it difficult

MOTIVACIONES			
ASPECTO	GORBEA	TXINDOKI	ZALAMA
Cientes	<ul style="list-style-type: none"> Responder a las demandas del mercado relativas a la gestión ambiental y eficiencia energética. 		
Imagen de producto/servicio	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar de la imagen de marca. 		<ul style="list-style-type: none"> Mejorar de la imagen de marca. Aumentar la calidad de proyectos
Imagen de empresa	<ul style="list-style-type: none"> Se ha conseguido consolidar la relación con algún promotor privado fruto de lo cual han surgido varios encargos. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la imagen de la empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> Diferenciarse de la competencia, incorporando un criterio innovador a los proyectos
Acceder a nuevos mercados	<ul style="list-style-type: none"> Se han ganado concursos, consiguiendo otro objetivo principal: realizar trabajos para las AA.PP. 	<ul style="list-style-type: none"> Facilita el acceso a las certificaciones de edificación sostenible, y estrechar lazos con las AA.PP. 	
Acciones de las Administraciones Públicas	<ul style="list-style-type: none"> Certificados valorados por Visesa en concursos públicos. Programa Eraikal para financiar la consultoría para la adopción y certificación de SGE. 	<ul style="list-style-type: none"> Certificados valorados por Visesa en concursos públicos. Programa Eraikal para financiar la consultoría para la adopción y certificación de SGE. Convenio de colaboración con el Aula de Ecodiseño (UPV/EHU). 	<ul style="list-style-type: none"> Reforzar la vigilancia legislativa en materia medioambiental. Convenio de colaboración con el Aula de Ecodiseño (UPV/EHU).
Mejora del impacto medioambiental productos/servicios	<ul style="list-style-type: none"> Reducir impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida y evitar el traslado de impactos ambientales de unas a otras etapas del ciclo de vida. 	<ul style="list-style-type: none"> La sostenibilidad es tenida en cuenta desde un inicio como parte insoluble de la creación de una arquitectura funcional. 	<ul style="list-style-type: none"> Desarrollar e implementar medidas activas y pasivas de eficiencia energética en el diseño de edificios.
Concienciación medioambiental	<ul style="list-style-type: none"> Conciencia social y compromiso con el medio ambiente 		

Tabla 1. Síntesis de las motivaciones para la adopción de prácticas de ecodiseño.
Fuente: Elaboración propia

En los tres casos analizados, Txindoki, Gorbea y Zalama se observan evidencias de integración a nivel estratégico de concienciación y compromiso medioambiental y social.

Respecto al propio proceso de adopción de prácticas de ecodiseño, en los tres casos se han encontrado con las mismas dificultades a la hora de identificar y evaluar los aspectos e impactos ambientales. Los estudios coinciden en señalar que es necesario encontrar una referencia de comparación válida que permita evaluar la reducción del impacto en el medio ambiente, ya que aún no existe una magnitud o magnitudes ampliamente aceptadas para valorar el comportamiento ambiental de un edificio y se desconocen las técnicas futuras de deconstrucción, lo cual dificulta la elección de una u otra medida que aumente las posibilidades de reutilización o valoriza-

to choose measures, which will increase the possibilities of reuse or enhancement of the building at the end of its life.

In the following table 3, we show examples of the main environmental impacts identified in the different phases of the life cycle of projects carried out by Txindoki (Cemetery reform), Gorbea (36 public housing units), and Zalama (rehabilitation of a factory).

The consumption of materials in the phase of obtaining and manufacturing them, the consumption of water and energy in the execution of the projects or in the phase of use, or the impacts associated with the end-of-life phase are the main highlights in all the cases analyzed.

In the previous table, we have collected some of the

ción del edificio en su fin de vida.

En la siguiente tabla 3, se muestra un ejemplo de los principales impactos ambientales identificados en las distintas fases del ciclo de vida de proyectos rea-

conditions that explain, for example, the reason why the consumption of raw materials is not an environmental aspect that has been deliberately reduced with specific measures in the reform of the Txindoki project.

PROCESOS			
	GORBEA	TXINDOKI	ZALAMA
Dificultades	<ul style="list-style-type: none"> • Existen multitud de materiales y soluciones constructivas y cada proyecto es único. • Es necesario encontrar una referencia de comparación válida que permita evaluar la reducción del impacto en el medio ambiente. • No existe una magnitud ampliamente aceptada para valorar el comportamiento ambiental de un edificio. • Las herramientas para evaluación de impactos emplean diferentes metodologías con resultados dispares. • Los fabricantes no proporcionan datos ambientales. • Se desconocen técnicas futuras de deconstrucción. • Difícil conocer los futuros usos de un edificio. 		

Tabla 2.

Síntesis de las dificultades del proceso de adopción de prácticas de ecodiseño.
Fuente: Elaboración propia

lizados por Txindoki (reforma Cementerio), Gorbea (36 viviendas de protección oficial), y Zalama (rehabilitación y ampliación de una fábrica).

El consumo de materiales en la fase de obtención y fabricación de los mismos, el consumo de agua y energía en la ejecución de los proyectos o en la fase de uso, o los impactos asociados a la fase de fin de vida son los principales aspectos destacados en todos los casos analizados.

En la tabla anterior se han recogido algunos de condicionantes que permiten explicar, por ejemplo, la razón por la cual el consumo de materias primas no es un aspecto ambiental que se ha tratado de reducir a propósito con soluciones específicas en el proyecto de Txindoki.

Por otro lado, en el proyecto de Zalama, que también trataba de una reforma, tenía una parte importante de obra nueva. El impacto en la fase de obtención y fabricación de materiales era especialmente relevante.

En cuanto a la fase de uso y mantenimiento de los edificios, parece que la ocupación del suelo y la biodiversidad no son aspectos que se valoren, quizá por tratarse de solares urbanizables acondicionados para la construcción o de reformas de construcciones ya existentes. Sin embargo, Txindoki valora estos aspectos, y les otorga un impacto elevado, aduciendo que la reforma implica una ocupación entre el 60-90% de la máxima permitida.

En la fase de fin de vida o deconstrucción, la realidad de los proyectos de construcción señala que tampoco son impactos desdeñables (Yeheyis et al., 2013) pero, sin embargo, como decía Ángel M^a Cea (Txindoki): "se desconocen las técnicas futuras de deconstrucción, y es difícil conocer los futuros usos

On the other hand, in Zalama's project in the manufacturing materials phase impacts were especially high.

Regarding the phase of use and maintenance of buildings, land occupation and biodiversity are not aspects taken into account. Perhaps because they are lands ready for construction or reform of existing buildings. Nonetheless, Txindoki values these aspects and argues that reform implies an occupation between 60-90% of the maximum allowed.

In the phase of end of life or deconstruction, the reality of construction projects indicates that they are not negligible impacts (Yeheyis et al., 2013). Nevertheless, as Ángel M^a Cea, architect and partner of Txindoki, said: "the techniques of future deconstruction are unknown, and it is difficult to imagine how the building is going to be used". Therefore, the main actions undertaken to improve the environmental performance of buildings in this phase are concentrated on the use of materials that may have a residual value at the end of its useful life. Txindoki projects the use of 25% and 50% of materials easily recyclable, Gorbea around 15% (except hazardous waste) and Zalama, without specifying any range, also claims to have reduced the amount of waste.

The following tables 4, 5 and 6 show the efforts made by the studies have focused mainly on the design of strategies for using materials with lower environmental impact and achieving passive energy efficiency measures in different phases of the life cycle.

Regarding the use phase of buildings, water consumption is a relevant aspect, though with the exception of rainwater recovery systems installed by Zalama, the rest of the measures are based on usual saving measures and very widespread in traditional construction, such as the installation of double flush

Obra nueva (N) / rehabilitación (R)	TXINDOKI		GORBEA		ZALAMA	
	Rehabilitación	Valoración ^{1,2}	Obra nueva	Valoración ^{1,2}	Rehabilitación	Valoración ^{1,2}
Entorno	Urbano		Urbano		Urbano	
Zona climática	C1		C1		C1	
Zona pluviométrica	II		II		II	
Impactos ambientales de proyecto¹						
Obtención y fabricación de materiales y componentes						
Consumo de materias primas	NO		SÍ	3	SÍ	1
Consumo de energía	NO		NO		NO	
Ejecución de obra						
Consumo de energía	SÍ	1	NO		NO	
Consumo de agua	SÍ	5	NO		NO	
Generación de residuos	SÍ	5	NO		NO	
Emisiones a la atmósfera	NO		NO		NO	
Emisión de ruidos	SÍ	5	No se evalúa		NO	
Uso y mantenimiento						
Consumo de energía	SÍ	1	SÍ	5	SÍ	5
Consumo de agua	SÍ	3	SÍ	3	SÍ	1
Emisiones a la atmósfera	SÍ	1	NO		NO	
Vertidos de aguas residuales	SÍ	1	NO		NO	
Emisión de ruidos	No se evalúa		No se evalúa		SÍ	3
Ocupación suelo	SÍ	5	No se evalúa		No se evalúa	
Biodiversidad	SÍ	5	No se evalúa		No se evalúa	
Fin de vida						
Consumo de energía	NO		SÍ	1	NO	
Generación de residuos	SÍ	5	SÍ	1	NO	
Emisión de ruidos	NO		No se evalúa		NO	

de un edificio”, por lo que las principales acciones emprendidas para mejorar el comportamiento ambiental de los edificios en esta fase se concentran en la utilización de materiales que puedan tener un valor residual al final de su vida útil. Txindoki proyecta el empleo de un 25% y 50% de materiales fácilmente reciclables e Gorbea entorno a un 15% (exceptuando los residuos peligrosos) y Zalama, por su parte, sin especificar rangos, afirma también haber reducido la cantidad de residuos que previsiblemente se vayan a generar en sus proyectos.

De las siguientes tablas 4, 5 y 6 se desprende que los esfuerzos realizados por los estudios se han centrado principalmente en el diseño de estrategias de utilización de materias de menor impacto ambiental y en lograr medidas pasivas de eficiencia energética en distintas fases del ciclo de vida.

En lo que respecta a la fase de utilización de los edi-

toilets or aerators in the taps. Among the main results obtained is the reduction in water consumption of around 30% in the projects analyzed, with the exception of the Zalama project, where greater results are obtained, with a reduction in water consumption of around 36.92%.

Another of the aspects observed in the cases analyzed is that it was to use construction systems that lighten the total weight of the structure, so that smaller thicknesses of the structural elements could be used.

On the other hand, only in the Zalama’s project have noise emissions been considered as a relevant aspect and only in the use phase, even when it is a building located in an urban environment with surrounded by large pedestrian areas. This is so because the environment demands especially low noise levels.

Tabla 3.

Principales impactos del ciclo de vida de los proyectos de Txindoki, Gorbea y Zalama.

Notas:

¹ Los valores “1, 3, 5” de la tabla se corresponden con el nivel de relevancia o criticidad del impacto ambiental en función de su afección al medio ambiente, donde 5 es el máximo y 1 el mínimo.

² Se han trasladado a la tabla los valores de cálculo obtenidos por las empresas de los impactos ambientales que consideran no suficientemente relevantes. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Txindoki, Gorbea y Zalama.

OBTENCIÓN Y FABRICACIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES			
ESTRATEGIA	CASO	MEDIDA APLICADA	RESULTADOS
Reducción del consumo de materias primas y consumo de energía	TXINDOKI	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de construcción ligera, elementos industrializados de madera certificado de producción forestal FSC, PEFC o declaración ambiental de producto (tipo I, II, o III). Revestimiento exterior con lamas de Geolam: <ul style="list-style-type: none"> Gran durabilidad y baja energía embebida; Fabricado con plástico y madera recicladas. Marcado con etiqueta ecológica Eco-Mark. 	(No cuantificado)
	GORBEA	<ul style="list-style-type: none"> Instalación sistema de fachada ventilada con revestimiento de mortero tipo "Stucanet" anclado a la base de asta de ladrillo perforado. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de consumo materia prima: 8%. 266,50 kg/m² de la fachada ventilada frente a los 331 Kg/m² de la fachada tradicional de doble hoja de ladrillo. Utilización de un 5,71% de materiales de origen reciclados y un 16,11% de materiales valorizables (empleo 25% de madera certificada).
	ZALAMA	<ul style="list-style-type: none"> Aislantes a base de corcho aglomerado negro y aislamientos de lanas minerales frente a espumas sintéticas derivadas del petróleo. Sustitución de betunes impermeabilizantes y telas asfálticas en todos los puntos y encuentros por láminas de caucho EPDM reciclables. Pinturas de dispersión sin COVs, en interiores y exteriores (vida de uso: 10 a 15 años). Evitar el uso de materiales con metales pesados en revestimientos, fachadas e instalaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> Eliminación de materiales pesados: 100% (se elimina el minio y las soldaduras). Reducción consumo materiales: 70%.

Tabla 4.

Principales estrategias, medidas y resultados de ecodiseño en la fase de Obtención y Fabricación de materiales y componentes. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Txindoki, Gorbea y Zalama.

ficios, el consumo de agua es un aspecto relevante, aunque, a excepción de los sistemas de recuperación de aguas pluviales instalados por Zalama, el resto de medidas se ciñen a medidas de ahorro habituales y muy extendidas en la construcción tradicional, como la instalación de inodoros de doble descarga o aireadores en la grifería. Entre los principales resultados obtenidos está la reducción del consumo de agua en torno a un 30% en los proyectos analizados, a excepción del proyecto de Zalama, donde se obtienen unos resultados mayores, con una reducción del consumo de agua del entorno de un 36.92%.

Otro de los aspectos observados en los casos analizados es que se trataba de emplear sistemas de construcción que aligeraran el peso total de la estructura, de forma que se pudieran emplear espesores menores de los elementos estructurales.

Por otro lado, solamente en el proyecto de Zalama se han considerado las emisiones de ruido como aspecto relevante y únicamente en la fase de uso —aún y cuando se trata de un edificio enclavado en un entorno urbano residencial con amplias zonas peatonales que lo circundan—, esto es debido a que el entorno exige niveles de ruido especialmente bajos.

En cuanto a la fase de fin de vida de los proyectos, en la siguiente tabla, se observan los resultados de aplicar medidas de reducción de residuos. Los estudios

Regarding the end-of-life phase of the projects, the following table shows the results of applying waste reduction measures. The studies have focused especially on reducing the generation of waste using removable interior plasterboard type plasterboard or other similar systems of dry construction.

However, in the cases analyzed, the adoption of the practice implies a significant increase in operating costs, the results obtained from the adoption of eco-design practices. The development of new solutions that improve the environmental performance of the projected building requires greater dedication. Despite this, no architecture firm claims to have transferred this increase in costs to the projects they carry out. However, it is true that the adoption of more sustainable constructive solutions slightly increases the cost of the building executed, mainly due to the use of active energy saving measures and renewable energies, and to the use of passive measures. In many cases they are more expensive than traditional solutions, although the estimated economic savings in the use and maintenance phase of the building justify the adoption of these measures, as stated in Txindoki.

In the following table, a synthesis of the results of the process of adopting eco-design practices from a life cycle approach is shown. The studies agree that more sustainable buildings with innovative criteria

USO Y MANTENIMIENTO			
ESTRATEGIA	CASO	MEDIDA APLICADA	RESULTADOS
Reducción del consumo de energía y reducción de emisiones a la atmósfera	TXINDOKI	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de muro trombe ventilado. • Instalación de sistema de ventilación higroregulable de doble flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo de energía de calefacción y refrigeración un 68,85% de ventilación higroregulable de doble flujo. • Instalación de sistema de generación de energías renovable: 22,120kWh/m².año (producción estimada sin contabilizar el sistema desaprovechamiento de energía solar térmica)
	GORBEA	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento de origen mineral no derivado del petróleo en espesores y densidades variables y adecuadas según sean cerramientos exteriores de fachada o de cubierta, forjados, medianeras entre viviendas y divisiones entre viviendas y escaleras o ascensor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción consumo de energía alrededor de media en las tres viviendas de 13,77% (8,10% gracias a la centralización de la instalación de ACS y calefacción). • Reducción de emisiones de CO₂ el 16% de ahorro en combustible con utilización de calderas de condensación.
	ZALAMA	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de cerramientos de alta inercia térmica en las orientaciones más desfavorables. • Colocación de lamas orientables con sistema de control de incidencia de radiación solar. • Carpintería de aluminio con rotura puente térmico de doble acristalamiento con una cámara de aire y baja emisividad, • Cubierta ajardinada con plantas de bajo porte y mínimo mantenimiento. • Sistema de producción central de ACS y calefacción mediante calderas de condensación. • Iluminación natural a través de fachada y patios. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo energético previsto para el edificio en un 29,06%.
Reducción del consumo de agua	TXINDOKI	(No cuantificado)	(No cuantificado)
	GORBEA	(No cuantificado)	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo de agua de las viviendas en un 31%.
	ZALAMA	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la presión de agua. • Utilización de grifos aireadores e inodoros de doble descarga. • Cubierta ajardinada capaz de acoger y mantener tanto plantas como sustrato vegetal y el agua de lluvia. No precisa de agua de red para su mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del consumo previsto en un 36,92%.
Reducción de la emisión de ruido	TXINDOKI	(No cuantificado)	(No cuantificado)
	GORBEA	(No cuantificado)	(No cuantificado)
	ZALAMA	<ul style="list-style-type: none"> • Trasdosados de aislamiento de lana de roca para reducción de ruido entre estancias. • Techo acústico para reducción de ruido en estancias. • Envoltorio con paneles acústicos de máquinas de producción de frío. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción ruido exterior 45dB e interior 10db

Tabla 5.

Principales estrategias, medidas y resultados de ecodiseño en la fase de Uso y Mantenimiento.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Txindoki, Gorbea y Zalama.

FIN DE VIDA			
ESTRATEGIA	CASO	MEDIDA APLICADA	RESULTADOS
Reducción de la generación de residuos	TXINDOKI	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de elementos industrializados de madera, es renovable, reciclable y reutilizable. 	(No cuantificado)
	GORBEA	<ul style="list-style-type: none"> Tabiquerías interiores desmontables, y perfilera de aluminio en la carpintería exterior. Estos elementos aseguran la posibilidad de desmontaje y reutilización en un futuro. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de 9,37% en la energía para la deconstrucción de las viviendas.
	ZALAMA		<ul style="list-style-type: none"> Reducción de generación de residuos 45%. Cada cara de tabiquería pesa 25 kg/m², mientras que el mismo tabique de fábrica de ladrillo pesa 140 kg/m².

Tabla 6.

Principales estrategias, medidas y resultados de ecodiseño en la fase Fin de Vida.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Txindoki, Gorbea y Zalama.

se han centrado especialmente en reducir la generación de residuos empleando tabiquerías interiores desmontables de cartón-yeso tipo Pladur u otros sistemas similares de construcción seca.

Con todo en los casos analizados, los resultados obtenidos de la adopción de prácticas de ecodiseño, muestran un significado incremento de los costes operativos. El desarrollo de nuevas soluciones que mejoren el comportamiento ambiental del edificio proyectado, requiere mayor dedicación. A pesar de ello, ningún estudio de arquitectura afirma haber trasladado este incremento de costes a los proyectos que realizan. Pero, es cierto, que la adopción de soluciones constructivas más sostenibles incrementa ligeramente el coste del edificio ejecutado, debido principalmente al empleo de medidas activas de ahorro energético y energías renovables, y a la utilización de medidas pasivas. En muchas ocasiones son soluciones más caras que las tradicionales, aunque el ahorro económico estimado en la fase de uso y mantenimiento del edificio justifican la adopción de estas medidas, como afirman en Txindoki.

En la siguiente tabla, se muestra una síntesis de los resultados del proceso de adopción de prácticas de ecodiseño desde un enfoque de ciclo de vida. Los estudios coinciden en que se han logrado edificios más sostenibles y con criterios innovadores, lo cual ha mejorado la imagen de la empresa y creen ser ahora más competitivos.

4. Conclusiones

Las razones que motivaron la integración de las prácticas de ecodiseño con un enfoque de ciclo de vida en el sistema de gestión de los estudios de arquitectura fueron: la aparición de legislación ambiental específica y la fuerte competencia recrudescida por el boom y la posterior crisis del sector de 2008. El proceso de adaptación a nivel organizacional implicó problemas, entre cuales se destacan la cuantificación de las mejoras ambientales en los proyectos. Asimismo, los estudios señalan que la práctica de ecodiseño debiera ser más ágil para permitir el empleo de datos de partida menos precisos, ya que en la redacción inicial de los proyectos no es posible definir el edificio ni sus sistemas completamente.

have been achieved, which has improved the image of the company and believe they are now more competitive.

4. Conclusions

The reasons that motivated the integration of eco-design practices with a life cycle approach in the architecture firms' management system were: the appearance of specific environmental legislation, the strong competition intensified the boom and the subsequent crisis of the sector in 2008. The adaptation process at the organizational level caused problems, as how to quantify the environmental improvements in the projects, among others. Likewise, the firms indicate the practice of eco-design should be more agile to allow the use of less precise starting data, given that in the drafting of projects in the same preliminary phase it is not possible to define the building or its systems completely.

Although, the studies analysed highlight that the introduction of life cycle thinking in the phase of design and development, has allowed to conceive and implement innovative concepts in projects and achieve higher level of quality.

In addition, firms state that the sector is technically qualified to achieve more sustainable buildings, but there is not enough environmental awareness in society, purchasing cost and the costs due to environmental impacts are far from being at the same level. Furthermore, the savings obtained in the use phase are not valued at the level of the acquisition costs, although in many cases they more than compensate for them.

Customers are unaware of the scope and objectives of the most environmentally sustainable solutions adopted in projects. Customer requires the inclusion of solutions that will not alter other aspects of the project (functionality, aesthetics ...) nor the budget and, if a slight overprice is possible, it should be as an investment that will be amortized over a medium term.

Sometimes, neither the public administrations, especially the local ones, manage to value the specific

RESULTADOS			
ASPECTO	GORBEA	TXINDOKI	ZALAMA
Mejora de los resultados económicos	<ul style="list-style-type: none"> Incrementa los costes operativos, pero no se trasladan al proyecto. Aumenta ligeramente el presupuesto de ejecución de los proyectos. Se admite si no se alteran otros aspectos del proyecto, y se amortice la inversión en un plazo medio. 	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de los costes internos. El ahorro económico estimado en la fase de uso y mantenimiento del edificio permite compensar la inversión inicial del usuario final. Incremento del coste de los edificios, pero no se trasladan al proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> Mayor carga de trabajo. Incremento del coste de los edificios.
Aumento del valor añadido	<ul style="list-style-type: none"> Edificios más sostenibles calificación energética B (s/ CTE). Conceptos innovadores. Proyectos de mayor calidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Ha ayudado a introducir mejoras e innovaciones. Aumentan la calidad de los proyectos. 	<ul style="list-style-type: none"> Incorpora un criterio innovador a los proyectos. Ayuda a mejorar la calidad.
Mejora de su imagen de producto/ servicio	<ul style="list-style-type: none"> “Los clientes desconocen el alcance y los objetivos del ecodiseño. Ni siquiera conocen el propio concepto de ecodiseño” 	<ul style="list-style-type: none"> El ecodiseño no es un aspecto que destaque positivamente. Los clientes tienen ideas preconcebidas erróneas sobre el ecodiseño 	<ul style="list-style-type: none"> Promotores privados reacios, “ecodiseño suena caro”, aunque más receptivos en soluciones de mejora de la eficiencia energética.
Mejora de su imagen de empresa	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la imagen de empresa. Permite distinguirse de sus competidores aún hoy. 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la imagen de empresa 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de la imagen de empresa. Hoy no permite distinguirse de la competencia.
Anticipación en el cumplimiento de la legislación	<ul style="list-style-type: none"> Cumplimiento de la legislación ambiental en la edificación actual y futura. 	<ul style="list-style-type: none"> Ha supuesto un esfuerzo menor en el cumplimiento de especificaciones ambientales en concursos públicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Ha ayudado a anticiparse a la aparición de legislación de aplicación en el sector
Satisfacción con los resultados	<ul style="list-style-type: none"> Satisfechos. Ha impulsado un proceso creativo muy receptivo a las nuevas técnicas constructivas. 	<ul style="list-style-type: none"> Satisfechos: “Ayuda a realizar una arquitectura más racional”. Facilita la obtención de certificaciones de edificación sostenible. 	<ul style="list-style-type: none"> Muy satisfechos y afirman que se han cumplido sus expectativas iniciales. Impulsa la mejora continua en el diseño y desarrollo de productos.

No obstante, los estudios analizados destacan que la introducción del pensamiento de ciclo de vida (Life Cycle Thinking) en la misma fase de diseño y desarrollo del proyecto, ha permitido concebir e implementar conceptos innovadores y lograr proyectos de mayor calidad.

Asimismo, los estudios afirman que el sector está capacitado técnicamente para lograr edificios más sostenibles, pero no hay una concienciación ambiental en la sociedad lo suficientemente fuerte y extendida, que sitúe al mismo nivel el coste de adquisición y el coste o impacto ambiental. Además, los ahorros obtenidos en la fase de uso no se valoran al nivel de los costes de adquisición, aunque en muchos casos compensen con creces los mismos.

Los clientes desconocen el alcance y los objetivos de las soluciones medioambientalmente más sostenibles adoptadas. El cliente exige que la inclusión de soluciones no altere otros aspectos del proyecto (funcionalidad, estética...), ni prácticamente la modificación del presupuesto y, si acaso, en algún caso, que el posible sobreprecio se traduzca en una inversión que se amortice en un plazo medio.

measures to improve the environmental performance of projects. The firms highlight the initiative of Vi-sesa (the public housing development company of the Basque Government), which has promoted the inclusion of environmental criteria in public tenders (requires the application of the sustainable environmental building guidelines of the Basque Government).

In addition to promoting the development of “green” markets, public administrations should develop new environmental legislation specific to the sector, and promote or support new systems for recognizing the environmental performance of buildings, such as the actual energy rating labels and other systems for evaluating the sustainability of buildings: LEED, BREEAM, etc.

In any case, architectural firms claim the results are positive, not only in terms of profitability for the organization itself, but also for designers, who are satisfied with their contribution to the environment. Studying and analyzing the environmental impacts of the project throughout its life cycle allows determining the most significant environmental aspects

Tabla 7.

Síntesis los resultados de la adopción de prácticas de ecodiseño.

Fuente: Elaboración propia.

En algunos casos, tampoco las administraciones públicas (AA.PP.), especialmente las locales, alcanzan a valorar las medidas específicas de mejora del desempeño ambiental de los proyectos. Los estudios destacan la iniciativa de Visesa que, como sociedad pública promotora de viviendas del Gobierno Vasco, ha promovido la inclusión de criterios ambientales en los concursos públicos (exige la aplicación de las guías de edificación ambiental sostenible del Gobierno Vasco).

Además de promover el desarrollo de mercados “verdes”, las AA.PP. podrían desarrollar legislación ambiental específica del sector, y promover o apoyar nuevos sistemas de reconocimiento del desempeño ambiental de los edificios, como pueden ser las actuales etiquetas de calificación energética y otros sistemas de evaluación de la sostenibilidad de edificios: LEED, BREEAM, etc.

En cualquier caso, los estudios de arquitectura destacan que los resultados son positivos, no solamente en términos de rentabilidad para la propia organización, sino también para los arquitectos, que se muestran satisfechos de contribuir al medioambiente. Estudiar y analizar los impactos ambientales del proyecto a lo largo de su ciclo de vida permite determinar aquellos aspectos ambientales más significativos e implantar medidas para reducir los potenciales impactos del proyecto, desde su nacimiento hasta la deconstrucción del edificio y la posterior gestión de los residuos. “Ayuda a realizar una arquitectura más racional”, concluyen en Txindoki.

and implementing measures to reduce the potential impacts of the project, from its birth to the deconstruction of the building: “It helps architects to make a more rational architecture”, conclude Txindoki.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Arana-Landín, G., Cilleruelo-Carrasco, E., & Aldasoro-Alustiza, J. C. (2012). ISO 14006. Experiencias previas de estudios de arquitectura que han adoptado el estándar de ecodiseño UNE 150301: 2003. *Informes de la Construcción*, 64(527), 319-330.
- [2] Arana, G., Landeta, B., Ruiz-de Arbulo, P., & Díaz-de Basurto, P. (2013). Analysis of the effects of the adoption of eco-design standards on business performance in the architecture firms. *DVNA*, 80(181), 201-209.
- [3] Binda, N. U., & Balbastre-Benavent, F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Revista de Ciencias económicas*, 179-187.
- [4] Goudie, A. S. (2018). *Human impact on the natural environment*. John Wiley & Sons.
- [5] Hollberg, A., & Ruth, J. (2016). LCA in architectural design—a parametric approach. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(7), 943-960.
- [6] Ihobe. 2019. Listado de empresas vascas en ecodiseño, ecoeficiencia productiva y circularidad de materiales. Bilbao: Sociedad de Gestión ambiental del Gobierno Vasco, Ihobe. Retrieved from <https://www.ihobe.eus/publicaciones/listado-empresas-vascas-en-ecodiseño-ecoeficiencia-productiva-y-circularidad-materiales-2>.
- [7] ISO (2011). ISO 14006:2011. Environmental management systems. Guidelines for incorporating ecodesign, Geneva.
- [8] Lamé, G., Leroy, V., & Yannou, B. (2017). Ecodesign tools in the construction sector: Analyzing usage inadequacies with designers' needs. *Journal of cleaner production*, 148, 60-72.
- [9] Landeta, B., Arana, G., Ruiz de Arbulo, P., & Díaz de Basurto, P. (2013). The standard ISO14006: A helpful tool to improve the competitiveness of the architecture firms. *Revista Ingeniería de Construcción*, 28(2), 155-171.
- [10] Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook*. 3rd.
- [11] Pigosso, D. C. A. (2012). *Ecodesign Maturity Model: a framework to support companies in the selection and implementation of ecodesign practices* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- [12] Rodrigues, V. P., Pigosso, D. C., & McAloone, T. C. (2017). Measuring the implementation of ecodesign management practices: A review and consolidation of process-oriented performance indicators. *Journal of cleaner production*, 156, 293-309.

Potencial de Reducción del Impacto Ambiental de Sistemas de Cerramientos para Rehabilitación de Edificio Residencial con Análisis de Ciclo de Vida

Environmental Impact Reduction Potential in Enclosure Systems for Residential Building Rehabilitation through Life-Cycle Assessment

Milagros Álvarez-Sanz¹, Silvia Pérez-Bezós¹, María Luisa Rodríguez-Pertuz¹, Íñigo Rodríguez-Vidal², Xabat Oregi-Isasi²

ABSTRACT

Entre el 10 y el 20% de los impactos ambientales generados por la edificación están relacionados con los procesos de construcción y demolición, mientras que el 80-90% restante está asociado a otras etapas del ciclo de vida de un edificio. Por esta razón es necesario reducir tanto el consumo energético durante la etapa de uso del edificio, como el impacto ambiental que se genera a partir de los procesos de construcción y de los materiales utilizados en la construcción. Aproximadamente el 40% de los edificios residenciales en la UE se construyeron antes de 1960 y el 84% tiene al menos 20 años. Teniendo en cuenta las características constructivas del parque edificatorio de esa época, no atienden al comportamiento térmico recomendado en las normativas energéticas y ambientales actuales. Por consiguiente, es crucial invertir en la rehabilitación energética de edificios para reducir su consumo energético y el impacto ambiental asociado al sector de la edificación. En este contexto, el presente estudio pretende comparar dos sistemas de rehabilitación energética de fachada de un edificio residencial, utilizando la metodología de Análisis de Ciclo de Vida para determinar el potencial de reducción del impacto ambiental de la rehabilitación. Para ello, en base a la UNE-EN 15978, durante este estudio se evaluará el impacto ambiental asociado a las etapas de producción (A1-3), puesta en obra (A4-5), remplazamiento (B4), uso (B6) y fin de vida (C1-4) del edificio rehabilitado. El edificio en estudio, propiedad del Departamento de Vivienda del Gobierno Vasco en Amurrio, Álava, será rehabilitado según criterios de edificación NZEB. Además de demostrar la relevancia de la rehabilitación energética, se pretende aplicar esta metodología como herramienta para la toma de decisiones sobre el sistema a emplear para llevar a cabo la renovación. Dado que la utilización de materiales reutilizados, reciclados u orgánicos de origen natural pueden ser determinantes en el impacto global del edificio, se evaluará el ahorro energético y la reducción del impacto ambiental asociado a los materiales empleados, a través de la comparación de dos tipos de fachada propuestos: ventilada y sin ventilar (SATE). Entre las principales conclusiones se puede destacar el ahorro energético que suponen las rehabilitaciones, principalmente en la etapa de uso (B6), así como el menor impacto del sistema SATE respecto a la fachada ventilada para los materiales considerados.

Key Words: Análisis de ciclo de vida (ACV), materiales de construcción, rehabilitación energética, impacto ambiental.

1. Introducción

Las últimas décadas se caracterizan por un aumento del consumo de energía primaria a nivel global, siendo los sectores industrial, residencial y de transportes los principales consumidores de energía final [1]. De acuerdo con la Comunicación de la Comisión Europea [2], el sector de la edificación representa el 40% del consumo total de energía final de la Unión Europea (UE) y el 36% de las emisiones comunitarias de CO₂.

A pesar de las diferencias en cuanto a las tipologías y necesidades energéticas de los edificios, la longevidad es una característica común de las construcciones europeas existentes [3]. Aproximadamente el 40% de los edificios residenciales en la UE se construyeron antes de 1960 y el 84% tiene al menos 20 años [4]. Sin embargo, el 75% son ineficientes en términos de energía, solo el 0,4-1,2% del parque edificatorio se renueva a cada año [5]. El mayor desafío en las próximas décadas, por lo tanto, es aumentar la tasa, la calidad y la eficacia de la renovación de edificios en pro de alcanzar los objetivos energéticos y climáticos establecidos por la UE para 2020 y 2050 [6].

Entre el 10 y el 20% de los impactos generados por la edificación están relacionados con los procesos de construcción y demolición, mientras que el 80-90% restante está asociado a la vida útil [7]. Por esta razón es necesario reducir tanto el consumo energético durante la etapa de uso del edificio, como el impacto ambiental que se genera a partir de los procesos de construcción y de los materiales utilizados en la construcción.

Por otro lado, centrarse en la reducción de la energía operacional durante el uso del edificio aumenta la relevancia del análisis de otras etapas del ciclo de vida [8]. En este sentido, el análisis de ciclo de vida (ACV) permite realizar una evaluación profunda y confiable de los potenciales impactos relacionados a proyectos de construcción. Por ende, este método puede ser aplicado al proceso de toma de decisiones para mejorar la sostenibilidad en la industria de la construcción.

La descripción de la metodología del ACV se basa en los estándares internacionales de ISO 14040 [9] e ISO 14044 [10], consistiendo de cuatro pasos analíticos distintos: definición del objetivo y alcance; análisis del inventario; evaluación del impacto e interpretación de los resultados. Específicamente, la norma UNE-EN 15978 [11] define los métodos de cálculo para la evaluación del comportamiento ambiental de edificios.

En este contexto, el presente estudio tiene como principal objetivo comparar dos sistemas de rehabilitación energética de fachada de un edificio residencial, utilizando la metodología ACV para determinar el potencial de reducción del impacto ambiental

1. Introduction

The past few decades have experienced a general increase in the primary energy consumption at a global level, with the industrial, residential and transport sectors being the main consumers of end use energy [1]. According to Communication from the European Commission [2], the building sector is responsible for about 40% of EU's total final energy consumption and 36% of the EU's total CO₂ emissions.

Despite differences in typologies and energy requirements of buildings, longevity is a common feature of the existing European building stock [3]. Approximately 40% of residential buildings in the EU were built before 1960 and 84% are at least 20 years old [4]. Although 75% are inefficient in terms of energy, only 0.4-1.2% of the building stock is renewed every year [5]. Therefore, the biggest challenge in the coming decades is to increase the rate, quality and efficiency of building renovation in order to achieve the energy and climate targets set by the EU for 2020 and 2050 [6].

Studies show that 10-20% of the impacts caused by a building are related to the construction and demolition stages, while the remaining 80-90% of negative environmental impacts is related to the building use stage [7]. Therefore, it is necessary to reduce both the energy consumption during the stage of use of the building and the environmental impact that is generated from the construction processes and from the materials used in the construction.

On the other hand, the focus on reducing operational energy during the use stage of the building increased the relevance of the environmental impact of the other life-cycle stages [8]. In this regard, life-cycle assessment (LCA) is recognized as a valid framework to deeply and efficiently assess the potential impacts related to construction projects. For this reason, this method can be applied to decision-making processes to improve sustainability in the construction industry.

The description of general LCA methodology is covered by the international standards ISO 14040 [9] and ISO 14044 [10], consisting of four different analytical steps: goal and scope definition; inventory modelling; impact assessment and interpretation of results. Specifically, UNE-EN 15978 standard [11] defines the calculation method for the assessment of environmental performance of buildings.

Within this context, the main objective of this study is to compare two facade energy rehabilitation systems presented for a residential building, using the LCA methodology to determine the potential for reducing the environmental impact of the rehabilitation. To this effect, based on UNE-EN 15978 [11], the environmental impact associated with the product (A1-3), construction (A4-5), replacement (B4), use

de la rehabilitación. Para ello, en base a la UNE-EN 15978 [11], se evalúa el impacto ambiental asociado a las etapas de producción (A1-3), puesta en obra (A4-5), reemplazamiento (B4), uso (B6) y fin de vida (C1-4) del edificio rehabilitado.

2. Objetivo, contexto y alcance

2.1. Objetivo

El presente estudio pretende comparar dos sistemas de rehabilitación energética de fachada aplicado a edificios residenciales, analizando el potencial de reducción del impacto ambiental de la rehabilitación. Dado que la utilización de materiales reutilizados, reciclados u orgánicos de origen natural pueden ser determinantes en el impacto global del edificio, se evalúa el ahorro energético y la reducción del impacto ambiental asociado a los materiales empleados a través de la comparación de dos tipos de fachada propuestos, y la identificación de las fases del ciclo de vida que presentan mayores impactos.

2.2. Metodología

El análisis se basa en la metodología propuesta por la tesis de Oregi [12], tratándose de un proceso cuantitativo que permite analizar el impacto generado en cada fase del ciclo de vida del proyecto de rehabilitación energética de un edificio, siguiendo lo establecido en las normas UNE-EN 15978 [11] para la evaluación del comportamiento ambiental. Esta metodología incluye cuatro pasos analíticos distintos: definición del objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de los resultados, que se definirán en los siguientes apartados como parte de la metodología.

2.3. Unidad funcional y vida útil del edificio rehabilitado

La unidad funcional del análisis se define como 1m²/año de superficie calefactada, considerando una vida útil del edificio rehabilitado de 50 años.

2.4. Límites del sistema

Se analizan de manera independiente tres escenarios, que se definirán en el apartado 3 y 4, de modo que se pueda realizar una comparación de la reducción del impacto ambiental. En las Tabla 1 y 2 se definen los límites del sistema empleados en cada escenario propuesto, basados en la Norma UNE-EN 15978 [11].

Etapa B6	Consumo de calefacción
Etapa C1-4	Fin de vida

Tabla 1.
Límites del sistema edificio existente (E1).

(B6) and end of life (C1-4) stages of the rehabilitated building are evaluated.

2. Goal, framework and scope

2.1. Goal

This study's goal is to compare two facade energy rehabilitation systems applied to residential buildings, analyzing the potential for reducing the environmental impact of rehabilitation. Considering that the use of reused, recycled or natural organic materials can be decisive in the overall impact of the building, two types of facades are proposed are compared, identifying the life cycle stages that have the greatest impacts. Thus, we evaluate energy savings and the reduction of the environmental impact associated with the materials used.

2.2. Methodology

The assessment is based on the methodology proposed by the thesis of Oregi [12], which presents a quantitative procedure that allows to assess the impact generated at each stage of the life cycle of a building energy refurbishment project, following the provisions of the standards UNE-EN 15978 [11] for environmental performance evaluation. This methodology is conducted in four different analytical steps: goal and scope definition, life cycle inventory analysis, life cycle impact assessment and life cycle interpretation, which will be defined in the following sections as part of the methodology.

2.3. Functional unit and reference service life

The functional unit for the assessment is defined as 1m²/year of heated surface, considering a reference service life of 50 years for the refurbished building.

2.4. System boundaries

Three scenarios are analysed separately (to be defined in sections 3 and 4), so that a comparison of the environmental impact reduction can be made. Table 1 and 2 define the system boundaries used in each proposed scenario, based on the UNE-EN 15978 standard [11].

Etapa A1-3	Etapas de producción
Etapa A4-5	Transporte y puesta en obra
Etapa B4	Reemplazamiento
Etapa B6	Consumo de calefacción
Etapa C1-4	Fin de vida

Tabla 2.
Límites del sistema edificio rehabilitado (E2 y E3).

En el Escenario 1 (E1), referente al edificio existente, se incluyen los impactos generados en las fases de Uso (B6) y Fin de vida (C1-4), desconsiderando los procesos de construcción, transporte y mantenimiento.

Los escenarios 2 y 3 (E2 y E3), referidos a los casos propuestos de rehabilitación, tienen en cuenta el ciclo de vida completo del proceso, desde la extracción y procesado de los materiales, hasta la demolición, transporte y tratamiento de residuos, incluido el reemplazamiento del sistema de fachada.

2.5. Indicadores de impacto

Se emplean dos métodos que incluyen indicadores de impacto energético y ambiental: Cumulative Energy Demand e ILCD 2016, respectivamente. Con base en lo propuesto por Hernández et al. [13], se consideran los siguientes indicadores en el análisis:

- Acidificación
- Eutrofización de agua dulce
- Cambio climático
- Agotamiento de Ozono
- Formación de Ozono fotoquímico
- Uso total de EP
- Recursos Renovables
- Recursos no renovables
- Uso de la tierra

3. Descripción del caso de estudio

En la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV), tal y como plantea Terés [14] - basado en datos recogidos en la Estadística municipal de viviendas de Eustat - la edad media del parque edificatorio residencial es de 39 años, y casi el 50% de los edificios fueron construidos entre los años 1960 y 1980. Por presentar unas características constructivas similares al parque edificatorio de las décadas anteriores se ha decidido analizar un edificio construido en el año 1990.

In Scenario 1 (S1), referring to the existing building, the impacts considered make reference to the ones generated in the Use (B6) and End of Life (C1-4) stages, disregarding construction, transport and maintenance processes.

Scenarios 2 and 3 (S2 and S3) refer to the proposed rehabilitation cases and take into account the whole life cycle of the process, from raw material extraction through manufacturing and transportation to the final demolition, transport and waste treatment, including the facade system replacement.

2.5. Impact indicators

Two methods that include energy and environmental impact indicators are used: Cumulative Energy Demand and ILCD 2016, respectively. Based on Hernández et al. [13], the following indicators are considered in the analysis:

- Acidification (AC)
- Fresh water eutrophication (FWE)
- Climate change (CC)
- Ozone depletion (OD)
- Photochemical ozone formation (POF)
- Total use of PE (PE)
- Renewable resources (RR)
- Non Renewable resources (NRR)
- Land use (LU)

3. Description of the case study

According to Terés [14], based on data collected in the Municipal Housing Statistics of Eustat, the average age of the residential building stock in the Autonomous Community of the Basque Country (ACBC) is 39, and almost 50% of the buildings were built between 1960 and 1980. Due to the similar constructive characteristics than the building stock of the previous decades, we decided to analyse a building constructed in 1990.



Figura 1.
Foto del edificio del caso de estudio en Amurrio, CAPV.

El edificio en estudio, propiedad del Departamento de Vivienda del Gobierno Vasco, situado en Amurrio, Álava, será rehabilitado según criterios de edificación NZEB (Fig. 1). Se trata de un edificio residencial plurifamiliar de 211 m², con planta baja comercial, tres plantas residenciales con dos viviendas por planta y una bajo-cubierta no habitable. Es un bloque exento con orientación norte-sur de las caras longitudinales y este-oeste de las fachadas laterales. Las viviendas cuentan con una ventilación natural y se ha considerado un sistema de calefacción de gas natural con caldera individual para el cálculo del análisis de ciclo de vida.

El cerramiento inicial (E1) está constituido por una hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento de poliuretano (PUR) proyectado de 4 cm, hoja interior de ladrillo hueco doble y acabado raseado, como se puede ver en la Fig. 2.

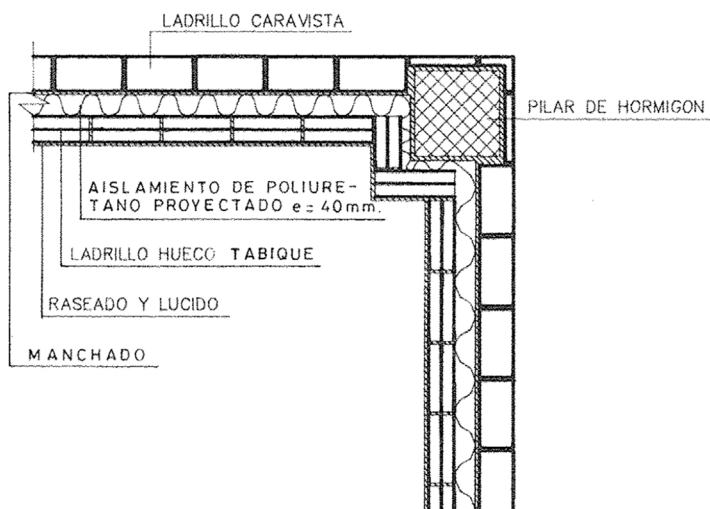


Figura 2. Sección horizontal del cerramiento del edificio existente (Escenario 1). Fuente: Gobierno Vasco.

The studied building, located in Amurrio, Álava, is property of the Housing Department of the Basque Government and will be refurbished according to NZEB building criteria (Fig. 1). The 221 m² multi-family residential building has a commercial ground floor, three residential floors with two dwellings per floor and an unliveable under-roof. The free standing construction has a north-south orientation of the longest walls and east-west orientation of the lateral facades. The dwellings have natural ventilation and a gas heating system with individual boiler has been considered for the life cycle assessment.

The original external walls (S1) are composed of an exterior layer of perforated brick, a 4 cm projected polyurethane insulation and an interior layer of double hollow brick and plaster, as can be seen in Fig. 2.

De esta manera, se analizan tres escenarios: el Escenario 1 hace referencia al edificio en su característica inicial y los escenarios 2 y 3 a la rehabilitación energética utilizando sistema SATE y un sistema con fachada ventilada, respectivamente.

En el presente estudio se decide analizar estos sistemas de aislamiento por el exterior para su implementación en rehabilitación por tratarse de dos de las soluciones más utilizadas en renovaciones energéticas [15], ya que presentan una serie de ventajas respecto a otras disposiciones [16]. Entre ellas, destacan la posibilidad de ejecutar la obra de rehabilitación con una mínima interferencia a los usuarios, no reduce la superficie útil del interior de las viviendas, y además de resolver los posibles puentes térmicos existentes con un aislamiento continuo en toda la superficie de fachadas, se aprovecha toda la inercia térmica del soporte rígido.

Para cada uno de estos escenarios se realizó una cuantificación de sus materiales componentes por m², determinando las características térmicas para

Thus, three scenarios are analysed: Scenario 1 refers to the original stage of the building and scenarios 2 and 3 to energy refurbishments, considering an exterior insulation and finish system (EIFS) and a ventilated facade system, respectively.

In this study, it is decided to analyze these external insulation systems for rehabilitation purposes because they are two of the most used in energy refurbishments [15], since they present a series of advantages over other solutions [16]. Among them, the possibility of carrying out the rehabilitation work with minimal interference to users, besides not reducing the useful surface of the interior of the dwellings, and in addition to solving the possible existing thermal bridges with continuous insulation on the entire surface of facades, taking advantage of the thermal inertia of the rigid support.

In this sense, a quantification of the component materials per m² was made, determining the thermal characteristics for each scenario. Then, the annual heating demand for the three scenarios were esti-

cada caso. A continuación, por medio del método de los grados-día, se estimó la demanda de calefacción anual para los tres escenarios utilizando los datos climáticos de la Agencia Nacional de Meteorología [17]. Las ganancias internas y pérdidas por ventilación e infiltración fueron desconsideradas, por falta de datos concretos del uso del edificio. Sin embargo, esta desconsideración no afecta los resultados del análisis realizado en este trabajo.

Los materiales y transmitancias consideradas para los tres casos pueden ser consultadas en la Tabla 3.

Como se puede observar, los escenarios 2 y 3 poseen transmitancias térmicas similares, lo que conlleva a demandas de calefacción próximas. En efecto, las principales diferencias entre estos sistemas son los materiales utilizados y, como consecuencia, la vida útil.

4. Elección de la estrategia de rehabilitación energética

Con el objetivo de reducir el consumo energético y el impacto ambiental asociado al edificio, se proponen y analizan dos soluciones de rehabilitación energética de fachada, centrando la intervención en la introducción de aislamiento térmico por el exterior del cerramiento existente.

mated using the degree-days method, collecting weather data from the National Meteorological Agency [17]. Internal gains and ventilation and infiltration losses were not taken into account, due to lack of concrete data of the use of the building. However, this simplification does not affect the results of the assessment carried out in this study.

The materials and transmittances considered for the three cases are presented in Table 3.

As the Table 3 allows to observe, scenarios 2 and 3 have akin thermal transmittances, which leads to similar heating demands. In fact, the main differences between these systems are the materials used and, as a consequence, the service life.

4. Energy refurbishment strategy selection

Two facade energy rehabilitation solutions are proposed and analysed for reducing building energy consumption and the consequent environmental impact by introducing thermal insulation on the outside of the original facade.

The EIFS system (S2) is composed of the original building wall of Scenario 1, a 15 cm cellulose insulation layer ($k=0.039$ W/mK), a 4 cm wood fibre in-

Tabla 3. Características constructivas y térmicas de los escenarios.

	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistividad térmica (m ² R/w)	Transmitancia térmica (W/m ² K)	Demanda anual de calefacción (KWh/año.m ² calef)
ESCENARIO 1				0,470	74,547
Enlucido y pintura	0,015	0,57	0,03		
Ladrillo media asta	0,07	0,44	0,16		
Cámara de aire	-	-	-		
Poliuretano proyectado	0,04	0,028	1,43		
Raseo de mortero	0,015	1	0,02		
Ladrillo caravista	0,115	0,96	0,12		
ESCENARIO 2				0,148	59,334
Muro inicial					
Aislamiento de celulosa	0,15	0,039	3,85		
Panel aislante fibra de madera	0,04	0,04	1,00		
Acabado de silicato de yeso	0,006	0,8	0,01		
ESCENARIO 3				0,147	59,309
Muro inicial					
Lana de vidrio	0,194	0,04	4,85		
Acabado de cerámica	0,02	-	-		
Perfil metálico		146			

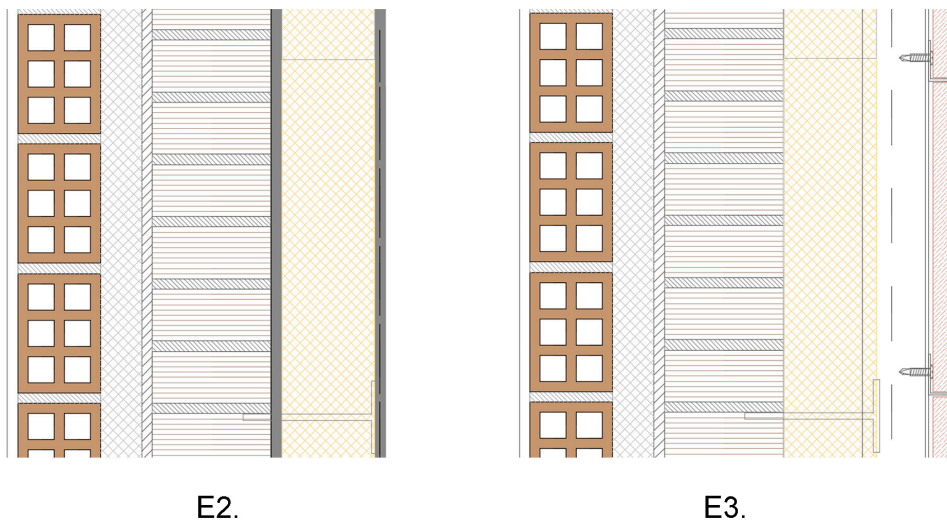


Figura 3. Sección vertical del cerramiento de rehabilitación propuesto (Escenario 2 y 3). Fuente: Gobierno Vasco.

El sistema SATE (E2) está compuesto por está formado por la hoja de soporte del Escenario 1, una capa de aislante de celulosa de 15 cm de espesor ($k=0,039$ W/mK), un panel aislante de fibra de madera de 4 cm de espesor ($k=0,04$ W/mK) y una capa de acabado de silicato de yeso de 6 mm ($k=0,8$ W/mK).

La fachada ventilada (E3) se compone de la hoja de soporte del Escenario 1, aislamiento de lana de vidrio de 19,4 cm de espesor y conductividad térmica de 0,04 W/mK, perfiles metálicos conformando la subestructura y un acabado de placas cerámicas de 2 cm de espesor. La Fig. 3 recoge la sección vertical de los escenarios 2 y 3.

5. Inventario de ciclo de vida. Fuentes de datos e hipótesis tomadas

Se ha establecido una vida útil a cada sistema analizado, 60 años para la fachada ventilada y 30 para el sistema SATE. En este sentido, el sistema de rehabilitación de fachada SATE requiere una sustitución completa en el periodo analizado en el Análisis de Ciclo de Vida.

El sistema de transporte de los materiales se basa en transporte por carretera en camión. Se proponen tres distancias diferentes para los componentes y productos de los distintos escenarios: 50 km para

insulation panel ($k=0,04$ W/mK) and a 0,6 cm silicate plaster finishing layer ($k=0,8$ W/mK).

The ventilated facade (S3) consists of the original facade from Scenario 1, a 19,4 cm glass wool insulation layer ($k=0,04$ W/mK), aluminium profiled sheets and a 2 cm ceramic tiles layer. Fig. 3 shows the vertical section of scenarios 2 and 3.

5. Life cycle inventory (LCI). Data sources and hypotheses

The service life has been established for each system, 60 years for the ventilated facade and 30 for the EIFS. In this sense, the EIFS facade refurbishment requires a replacement of the whole facade during the analysed period in the Life Cycle Assessment.

The transport system considered is road transport by lorry. Based on Oregi [12], three different transportation distances for the components and products of the three scenarios were considered: 50 km for distributions within the province, 120 km for distributions within the autonomous community and 300 km for transportation within the state.

The data sources are the Ecoinvent database [18], the Study of Life Expectancy of Home Materials of the National Association of Home Builders (NAHB) [19], many Environmental Product Declarations

Elemento	Fuente	Unidad	Cantidad	Distancia (km)
Gas natural	Ecoinvent	kWh	74,55	-
Enlucido y pintura	NAHB	kg	17,25	-
Ladrillo media asta	NAHB	kg	53,90	-
PUR proyectado	Catalogo CTE	kg	1,80	-
Mortero	Catalogo CTE	kg	25,50	-
Ladrillo caravista	NAHB	kg	89,70	-

Tabla 4. Inventario de ciclo de vida edificio existente (E1).

Elemento	Fuente	Unidad	Cantidad	Distancia (km)
Aislante de celulosa	NAHB	kg	7,50	50
Panel aislante fibra de madera	NAHB	kg	5,60	50
Acabado silicato de yeso	NAHB	kg	9,00	120
Gas natural	Ecoinvent	kWh	59,33	-

Tabla 5. Inventario de ciclo de vida edificio rehabilitado (E2).

Elemento	Fuente	Unidad	Cantidad	Distancia (km)
Lana de vidrio	EPD [21]	kg	2,30	120
Perfiles subestructura de aluminio	EPD [22]	kg	87,48	300
Acabado cerámico	EPD [23]	kg	19,90	120
Gas natural	Ecoinvent	kWh	59,31	-

Tabla 6. Inventario de ciclo de vida edificio rehabilitado (E3).

distribuciones dentro de la provincia, 120 km para distribuciones dentro de la comunidad autónoma y 300 km para transporte dentro del estado, basado en lo establecido por Oregi [12].

Las fuentes de los datos utilizados corresponden a la base de datos de Ecoinvent [18], del Estudio de la vida útil de los componentes de la vivienda de la National Association of Home Builders (NAHB) [19], de varias Declaraciones Ambientales de Productos EPD y del Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de Edificación (CTE) [20].

En las tablas 3, 4 y 5 se recoge el inventario de ciclo de vida de los escenarios analizados para un metro cuadrado de fachada.

6. Resultados y discusión

La Tabla 7 presenta los resultados obtenidos para la etapa B6 por medio del análisis de ciclo de vida de los tres escenarios. La evaluación de los datos obtenidos evidencia la relevancia de esta etapa dentro de la totalidad del impacto ambiental para todos los casos. De manera general, se observa que se produce una disminución significativa de los impactos en los escenarios del edificio rehabilitado.

Como se muestra en la Tabla 7, las rehabilitaciones implican una reducción general del impacto a excepción del indicador de recursos renovables. No obstante, este indicador permite su regeneración y compensación.

Asimismo, el total de energía primaria presenta un balance positivo en los casos propuestos. La reducción del impacto obtenida, de manera general, evidencia el ahorro que suponen las rehabilitaciones frente a la situación actual.

Los resultados obtenidos son similares entre los es-

(EPD) and, finally, the Construction Elements Catalog of the Technical Building Code (CTE) [20].

Tables 3, 4 and 5 present the life cycle inventory of the considered scenarios for one square meter of facade.

6. Results and discussion

Table 7 presents the results obtained for B6 stage through the life cycle assessment of the three scenarios. The data demonstrate the relevance of this stage within the total environmental impact for all cases. In general, there is a significant decrease in the impacts of the refurbished building scenarios.

As shown in Table 7, the renovations cause a general reduction of impact with the exception of the renewable resources indicator. However, this indicator can be compensated and regenerated.

Furthermore, the total primary energy presents a positive balance for the proposed scenarios. The reduction obtained, overall, shows the potential savings of the renovations scenarios compared to the original situation.

The results obtained are similar between scenarios 2 and 3 for B6 stage since the same base heating demand was assumed. Thus, the variations are due to the influence of the materials, mainly the energy associated with the production process. Wastiels et. al [24] states that, for buildings with good thermal performance, the decisions made regarding the material used become more significant while the environmental impact related to the use stage becomes smaller.

Similar studies [25], [26] concluded that the highest impact of the life cycle of a building is associated with the use stage, followed by the construction

	Indicador	Unidad	E1	E2	Reducción del impacto	E3	Reducción del impacto
Acidificación	AP	Mole H+ eq.	3,23E+00	2,57E+00	20,44%	2,57E+00	20,41%
Eutrofización de agua dulce	FWE	kg P eq.	4,20E-02	3,34E-02	20,44%	3,39E-02	19,41%
Cambio climático	CC	kg CO2 eq.	9,66E+02	7,68E+02	20,44%	7,69E+02	20,41%
Agotamiento de Ozono	OD	kg CFC-11 eq.	7,67E-05	6,10E-05	20,44%	6,10E-05	20,41%
Formación de Ozono fotoquímico	POF	kg C2H4 eq.	1,05E+00	8,33E-01	20,44%	8,34E-01	20,41%
Uso total de energía primaria	PE	MJ	1,57E+04	1,26E+04	20,10%	1,27E+04	19,34%
Recursos reno-vables	RR	MJ	9,94E+01	1,32E+02	-33,29%	1,29E+02	-29,86%
Recursos no renovables	NRR	MJ	1,56E+04	1,24E+04	20,44%	1,26E+04	19,65%
Uso de la tierra	LU	kg SOC	6,54E+02	5,20E+02	20,44%	5,21E+02	20,41%

escenarios 2 y 3 para la etapa B6 puesto que se asume una misma demanda base. En consecuencia, las variaciones se deben a la influencia de los materiales, principalmente a la energía asociada al proceso de producción. Wastiels et. al [24] define que, para edificios con buen comportamiento térmico, las decisiones tomadas respecto al material empleado adquieren mayor relevancia al mismo tiempo que el impacto ambiental relativo a la fase de uso se vuelve menor.

Estudios similares [25], [26] concluyen que el mayor impacto del ciclo de vida de una edificación está asociado a la etapa de uso seguido de la etapa de construcción, por lo que vale la pena tener en cuenta el impacto vinculado a la fabricación y procesamiento de los materiales que serán empleados. La Fig. 4 presenta el impacto de cada una de las etapas para los escenarios E1, E2 y E3, donde se evidencia la relevancia asociada a la etapa de uso.

Partiendo de la mejoría que suponen las rehabilitaciones, se presenta una comparación de los dos escenarios propuestos para determinar los impactos particulares para cada caso y la mejor opción en términos de impacto ambiental.

stage, so it is worth to consider the impact related to the processing and manufacture of the materials that will be used. Fig. 4 presents the impact of each of the stages for scenarios E1, E2 and E3, evidencing the relevance associated with the use stage.

Based on the improvement that the renovations suppose, a comparison of both proposed refurbished scenarios is presented to determine the particular impacts for each case and appoint the best option in terms of environmental impact.

Fig. 5 shows the results of the comparison. For this analysis were taken into account the impacts associated to the A1-A5, B4 and C1-C4 stages. B6 stage was disconsidered in Fig. 5 for better contrasting the other stages.

Despite considering a shorter service life for Scenario 2 (30 years, against 60 years for Scenario 3), and so demanding a complete replacement and renewal of the facade system, a lower impact for the EIFS system (S2) regarding the ventilated facade system (S3) is shown. Therefore, Scenario 3 showed higher impact for the considered categories, except for the use of the land.

Tabla 7. Resultados del ACV.

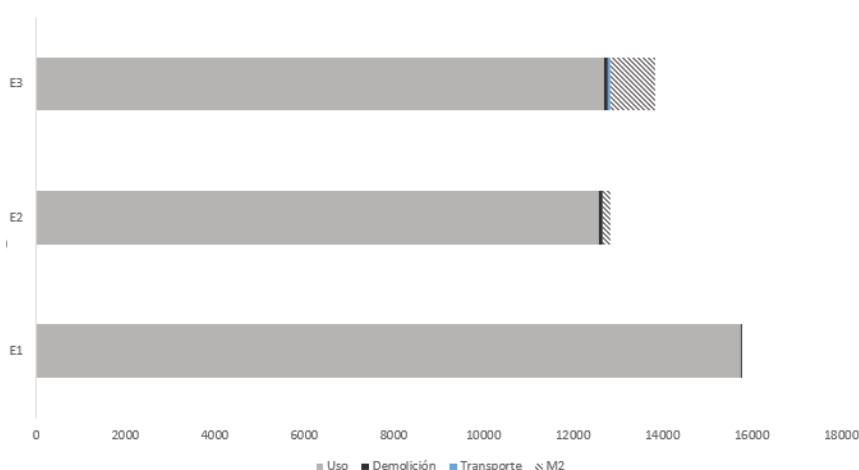


Figura 4. Impacto por etapas para E1, E2 y E3.

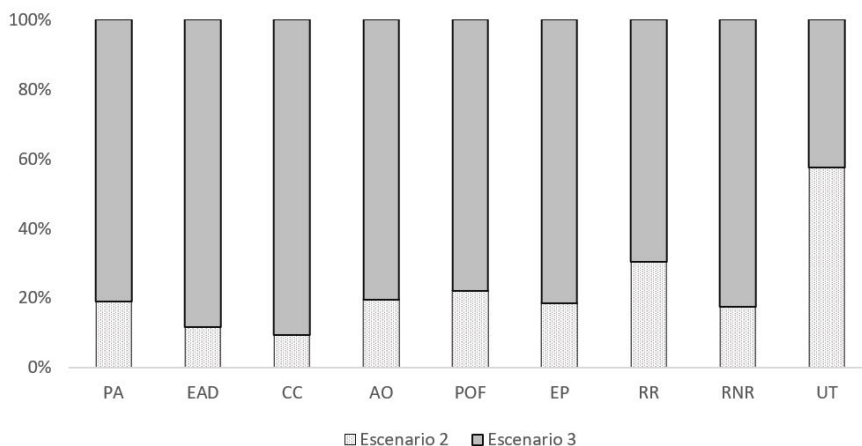


Figura 5. Comparación de impacto Escenarios 2 y 3, etapas A1-A5, B4 y C1-C4.

La Fig. 5 muestra los resultados de dicha comparación. En este análisis fueron tenidos en cuenta los impactos asociados a las etapas A1-A5, B4 y C1-C4. La etapa B6 no fue considerada en la Fig. 5 para permitir contrastar los impactos de dichas etapas.

A pesar de considerar una vida útil del Escenario 2 de 30 años, frente a 60 años del Escenario 3, y existiendo así un reemplazamiento y renovación del cerramiento completo del primer caso, se observa un menor impacto para la solución del sistema SATE (E2) respecto a la fachada ventilada (E3). De esta manera, se obtiene que el Escenario 3 presenta un impacto mayor en las categorías evaluadas, exceptuando el uso de la tierra.

Esta diferencia del impacto ambiental global de los escenarios reside en los materiales empleados y en el proceso de fabricación de los mismos. Según los resultados recogidos por Azari y Abbasabadi [1] sobre el impacto ambiental de varios tipos de aislantes, puede alcanzarse un incremento de 28-30 MJ/m² de la energía gris del aislamiento de fibra de vidrio respecto al aislante de celulosa.

Asimismo, el reciclaje y la reutilización permiten re-

The global environmental impact difference for the two scenarios is due to the materials used and the process of their manufacturing. According to the results obtained by Azari y Abbasabadi [1] regarding the environmental impact of different insulators types, the embodied energy of the fiberglass insulation can exceed in 28-30 MJ/m² the embodied energy of the fiberglass insulation.

Furthermore, recycling and reuse allow to reduce waste generated through a landfill, consequently minimizing the consumption of raw material used in the manufacture of components. Despite transportation, energy consumption and emissions associated with the recycling process, global energy savings are still higher [1]. When considering the use of recycled materials in Scenario 2, such as cellulose and wood fibre, the minor environmental impact of this case compared to Scenario 3 can be justified.

Although the most significant impact is presented in B6 stage, it is necessary to take into account the effects of A1-A5, B4 and C1-C4 stages, since they represent significant savings, as presented in Table 8. For Scenario 2, depending on the considered indicator, the combination of A1-A5 and B4 stages can

Tabla 8. Porcentajes de impacto Escenario 2.

		ESCENARIO E2			
		A1-A5	B4	B6	C1-C4
Acidificación	AP	1,6%	1,6%	96,0%	0,8%
Eutrofización de agua dulce	FWE	5,5%	5,5%	88,2%	0,7%
Cambio climático	CC	0,3%	0,3%	99,1%	0,3%
Agotamiento de Ozono	OD	0,9%	0,9%	97,0%	1,2%
Formación de Ozono fotoquímico	POF	2,7%	2,7%	91,9%	2,6%
Uso total de energía primaria	PE	0,7%	0,7%	98,0%	0,5%
Recursos reno-vables	RR	9,7%	9,7%	79,6%	1,0%
Recursos no renovables	NRR	0,6%	0,6%	98,2%	0,5%
Uso de la tierra	LU	10,9%	10,9%	68,0%	10,2%

ducir los residuos gestionados a través de vertedero, minimizando así el consumo de materia prima virgen empleada para la fabricación de los materiales. A pesar del transporte, consumo energético y emisiones asociadas al proceso de reciclaje, el ahorro energético global continúa siendo mayor [1]. Considerando la utilización de materiales reciclados, como la celulosa y la fibra de madera del Escenario 2, se puede justificar el menor impacto del mismo respecto al Escenario 3.

Pese a que el impacto más significativo se presenta en la etapa B6, se hace necesario analizar las afectaciones de etapas A1-A5, B4 y C1-C4 visto que representan un ahorro significativo, como se puede observar en la Tabla 8. En cuanto al Escenario 2, dependiendo del indicador considerado, la suma de las etapas A1-A5 y B4 puede alcanzar un 22% del impacto total su ciclo de vida.

Algunos de los indicadores de impacto de las etapas A1-A5 y B4 del Escenario 2 presentaron resultados importantes en ciclo de vida, no obstante, siguen siendo significativamente inferiores a la etapa B6. Resultados similares fueron recogidos por Oregi [12], que concluye que la etapa de construcción presenta una importancia relativamente menor respecto al desempeño ambiental de estrategias de rehabilitación en un caso de estudio en España.

Las etapas C1-C4, asociadas al fin de vida, no representan en ningún caso más del 10% del impacto total, según los resultados obtenidos. También cabe resaltar que el potencial de ahorro de esta fase está directamente relacionado al tratamiento de residuos que se lleve a cabo. Para este estudio se considera que la disposición final se realiza en vertederos controlados.

7. Conclusiones

El presente estudio ha presentado la comparación de dos sistemas de rehabilitación energética de fachada aplicado a un caso de estudio en Amurrio, CAPV, analizando el potencial de reducción del impacto ambiental de las soluciones propuestas.

Los resultados muestran el ahorro energético que suponen las rehabilitaciones, principalmente en la etapa de uso (B6). Los escenarios 2 y 3 presentan un impacto ambiental global similar para esta etapa, enfocando así el análisis a los materiales empleados en las dos soluciones. Considerando la utilización de materiales reciclados, como la celulosa y la fibra de madera del Escenario 2, se justifica el menor impacto del mismo respecto al Escenario 3, reduciendo también la utilización de materia prima virgen.

A pesar de haber identificado la relevancia de la etapa de uso (B6) en el ciclo de vida de las rehabilitaciones energéticas, el origen, la fabricación y el procesamiento de los materiales empleados adquieren

reach 22% of the total impact of their life cycle.

Despite some of the impact indicators of A1-A5 and B4 stages for Scenario 2 showed significant results in the overall life cycle, they are still significantly lower than B6 stage. Similar results were obtained by Oregi [12], concluding that the construction stage presents a relatively minor importance regarding the environmental performance of renovation strategies in a case study in Spain.

Stages C1-C4, associated with the end of life, do not represent in any case more than 10% of the total impact, according to the results obtained. It is worth to mention that the savings potential of this phase is directly related to the waste treatment that is carried out. For this study it is considered that the final disposal is carried out in controlled landfills.

7. Conclusions

The present study presented the comparison of two facade energy refurbishment systems applied to a case study in Amurrio, ACBC, analysing the environmental impact reducing potential of the proposed solutions.

Results show the energy saving that the rehabilitations imply, especially regarding the use stage (B6). For scenarios 2 and 3 this stage presents a similar global environmental impact, focusing the analysis on the materials used in both solutions. Considering the use of recycled materials, such as cellulose and wood fiber in Scenario 2, the lower impact in comparison to Scenario 3 is justified, reducing the use of raw material as well.

Despite having identified the relevance of the use stage (B6) in the life cycle of energy refurbishments, the extraction, manufacture and processing of materials used become more significant while the environmental impact related to the use stage (B6) becomes smaller.

Among the limitations of this study can be mentioned the initial assumptions about the energy consumption and the materials precedence, for lack of real data. Furthermore, a possible line of complementary research from this study could be based on extending the analysis towards an economic approach. Also, evaluate and validate the energy savings that one system supposes against the other, using materials with an equivalent environmental impact, so that the saving can be attributed to the characteristics of the system.

mayor importancia en edificios con buen comportamiento térmico al mismo tiempo que el impacto ambiental de la fase de uso (B6) se reduce.

Entre las limitaciones del estudio se pueden mencionar las suposiciones iniciales respecto al consumo energético y la procedencia de los materiales, por carencia de datos reales. Además, una posible línea de investigación complementaria a partir del estudio realizado podría basarse en la ampliación del análisis hacia un enfoque económico. Así como evaluar y validar el ahorro energético que supone un sistema frente al otro, empleando materiales con un impacto ambiental equivalente, de modo que se pueda atribuir el ahorro a las características propias del sistema.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] R. Azari and N. Abbasabadi, "Embodied energy of buildings: A review of data, methods, challenges, and research trends," *Energy Build.*, vol. 168, pp. 225–235, 2018.
- [2] Comisión Europea, "Comunicación de la Comisión - Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20 %." Bruselas, 2008.
- [3] International Energy Agency. and Organisation for Economic Co-operation and Development., *Transition to sustainable buildings : strategies and opportunities to 2050*. OECD/IEA, 2013.
- [4] L. Ryan, *Mobilising investment in energy efficiency: Economic instruments for low-energy buildings*. 2012.
- [5] O. Pombo, B. Rivela, and J. Neila, "Life cycle thinking toward sustainable development policy-making: The case of energy retrofits," *J. Clean. Prod.*, vol. 206, pp. 267–281, 2019.
- [6] European Commission THINK, "How to Refurbish All Buildings by 2050, THINK, European Commission," 2012.
- [7] P. A. Jensen, E. Maslesa, J. B. Berg, and C. Thuesen, "10 questions concerning sustainable building renovation," *Build. Environ.*, vol. 143, pp. 130–137, Oct. 2018.
- [8] X. Oregi, P. Hernandez, and R. Hernandez, "Analysis of life-cycle boundaries for environmental and economic assessment of building energy refurbishment projects," *Energy Build.*, vol. 136, pp. 12–25, 2017.
- [9] UNE-EN, "ISO 14040 Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia." 2006.
- [10] UNE-EN, "ISO 14044 Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices." 2006.
- [11] UNE-EN, "15978 Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo." 2012.
- [12] X. Oregi, "Techno-economic evaluation of building energy refurbishment processes from a life cycle perspective. Ph.D. Thesis, University of the Basque Country, Donostia, Spain," no. c, 2015.
- [13] P. Hernandez, X. Oregi, S. Longo, and M. Cellura, "Life-Cycle Assessment of Buildings," in *Handbook of Energy Efficiency in Buildings*, Butterworth-Heinemann, 2019, pp. 207–26.
- [14] J. Terés Zubiaga, "Energy retrofits in Social Housing Analysis of its thermal behaviour," Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatearen Argitalpen Zerbitzua, 2014.
- [15] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid, "Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas," p. 328, 2008..
- [16] IDAE, "Guía IDAE: Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios," Madrid, 2012.
- [17] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), *Guía técnica. Condiciones climáticas exteriores de proyecto*. 2010.
- [18] Swiss Centre for Life Cycle Inventories, "Ecoinvent Centre." Ecoinvent Centre, Dübendorf, Switzerland, 2014.
- [19] National association of Home Builders (NAHB) & Bank of America, "Study of Life Expectancy of Home Materials," 2007.
- [20] Código Técnico de la Edificación, "Catálogo de Elementos Constructivos." España, 2010.
- [21] Saint Gobain Isover Ibérica SL, "ECO EPD 00000250," pp. 6–11, 2015.
- [22] Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), "EPD-PPA-20180078-CBG2-EN." pp. 106–107, 2018.
- [23] Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), "EPD-COI-20160202-ICG1-EN." IBU, 2016.
- [24] L. Wastiels, J. Van Dessel, and L. Delem, "Relevance of the recycling potential (module D) in building LCA: A case study on the retrofitting of a house in Seraing (Best Paper SB13 Graz)." 2018.
- [25] N. MIRABELLA et al., "Strategies to Improve the Energy Performance of Buildings: A Review of Their Life Cycle Impact," *Buildings*, vol. 8, no. 8, p. 105, Aug. 2018.
- [26] J. Bastos, S. A. Batterman, and F. Freire, "Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon," *Energy Build.*, vol. 69, pp. 344–353, Feb. 2014.

Desarrollo de un Modelo Simple para la Estimación de la Reducción de la Demanda de Calefacción Debida a Acciones de Rehabilitación

Development of a Simple Model for the Estimation of the Space Heating Demand Reduction due to Retrofitting Actions

Milagros Álvarez-Sanz¹, Álvaro Campos-Celador², Jon Terés-Zubiaga³, Pello Larrinaga-Alonso³

ABSTRACT

El sector de la edificación juega un papel clave en la mitigación del cambio climático. A pesar de la heterogeneidad existente, la longevidad es una característica común del parque edificatorio europeo. En España, aproximadamente el 56% del parque edificatorio fue construido antes de la primera normativa térmica (NBE-CT 79). Así, la rehabilitación se ha convertido en una estrategia clave en el camino hacia la reducción de emisiones, siendo los modelos para la estimación de la demanda aliados imprescindibles en la toma de decisiones en dichas rehabilitaciones. Uno de los principales métodos estacionarios para el cálculo de demanda energética es el método de grados-día. Sin embargo, este modelo presenta limitaciones que deben ser conocidas para considerar su alcance y aplicabilidad. Entre las principales incertidumbres de este método está la selección de la temperatura base, que en la práctica se verá afectada por nivel de eficiencia del edificio evaluado. La determinación de una temperatura base adecuada es fundamental en la obtención de valores ajustados mediante este método. Sin embargo, aunque ha habido aproximaciones para el cálculo de una temperatura base variable, la tendencia es utilizar una temperatura base genérica, sin considerar las características específicas del edificio analizado. Esto tiene un impacto relevante en las demandas estimadas mediante este método, que tienden a estar significativamente sobreestimadas. Tal efecto ha limitado el uso generalizado del método de grados día, en favor de las simulaciones energéticas dinámicas.

Así, el presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo un método simple para la estimación de la demanda en base a los principales parámetros de diseño y operativos de un edificio. Para ello, se han seleccionado 11 parámetros de diseño independientes y, a partir de la aplicación del Diseño de Experimentos, se han realizado un total de 153 simulaciones, tomando como base un edificio multifamiliar localizado en el barrio de Otxarkoaga (Bilbao) construido en la década del 60. Mediante técnicas de regresión lineal, se ha determinado una relación entre estas variables independientes y la demanda específica de calefacción. Este modelo es aplicable en distintos ámbitos permitiendo la estimación inmediata de la demanda energética de calefacción, tanto en fase diseño de nuevos edificios como para plantear acciones de rehabilitación sobre edificios existentes. Los resultados muestran el potencial de este método de predicción como una herramienta alternativa eficaz para respaldar la toma de decisión sobre soluciones de rehabilitación energética por medio de una primera estimación de demanda de calefacción con buena precisión.

Key Words: Método simple, método de los grados-día, demanda de calefacción, rehabilitación energética, temperatura base

(1) Department of Thermal Engines and Machines, Faculty of Engineering of Bilbao, UPV/EHU, Bilbao, +34 602 439 388, milagros.asanz@gmail.com (2) ENEDI Research group, Faculty of Engineering of Gipuzkoa, UPV/EHU, Eibar. (3) ENEDI Research Group, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, Bilbao.

1. Introducción

Recientemente, el acuerdo de la 21ª Conferencia de las Partes de París (COP 21) estableció un plan de acción para evitar el cambio climático al mantener el aumento de la temperatura media global por debajo de los 2°C [1]. Según con los datos de la Agencia Internacional de la Energía [2], los edificios y el sector de la construcción en conjunto representan el 36% del uso de energía final global y el 39% de emisiones de CO₂ relacionadas con la energía secundaria. Así, el sector de la edificación tiene un papel de vital importancia en la mitigación del cambio climático.

En la Unión Europea (UE), el sector residencial representa el 25,4% del consumo de energía final, cuyo principal uso es para la calefacción, responsable por aproximadamente el 65% del consumo total en las viviendas [3]. Para obtener ahorros significativos de energía primaria, pueden ser realizadas medidas de mejora en la envolvente de los edificios, en las condiciones internas y en los sistemas de calefacción y refrigeración, etc. [4].

La Directiva 2002/91/CE [5] sobre eficiencia energética de los edificios, refundida en la Directiva 2010/31/UE [6] y recientemente actualizada en la Directiva 2018/844/UE [7], supuso un punto de inflexión en la promoción de la eficiencia energética de los edificios en la UE, introduciendo exigencias legales en esa perspectiva tanto para nuevos edificios como para existentes. Para tal finalidad, los diseñadores y los investigadores del área deben optimizar todos los aspectos posibles (envolvente, sombreado, componentes de sistemas de refrigeración y calefacción, criterios de regulación, entre otros), empezando por las fases más iniciales posibles con una perspectiva de optimización [8], a fin de respetar las prescripciones de la directiva y, al mismo tiempo, asegurar el confort térmico de los ocupantes [9].

En ese sentido, los modelos energéticos se han convertido en una parte fundamental del diseño de edificios. Los softwares capaces de estimar la demanda de energía térmica necesaria para calefacción y refrigeración, permiten evaluar los efectos de distintas alternativas y encontrar las soluciones optimizadas. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, el coste de generar y ejecutar simulaciones de energía complejas hace que no sea práctico confiar exclusivamente en un modelado energético detallado para explorar y comparar las alternativas en la fase de diseño [10].

Frente a estas herramientas de software, basadas generalmente en modelos matemáticos dinámicos, existen los métodos de cálculo estacionario. Si bien ninguno de estos dos métodos de cálculo es generalmente mejor que el otro, la determinación de cuál utilizar depende de lo que se quiere calcular y de los datos disponibles [11]. El incremento de detalles de los parámetros de entrada permite una investiga-

1. Introduction

Recently, the 21st Conference of the Parties on Climate Change (COP 21) set an action plan to face climate change, maintaining the average global temperature rise below 2°C [1]. According to the data from the International Energy Agency [2], building sector represents 36% of the global final energy consumption and 39% of the CO₂ emissions. Thus, the building sector has the potential to play a key role in climate change mitigation.

In the European Union (EU), the residential sector represents the 25.4% of the final energy consumption, being the space heating the main component of that consumption, representing the 65% of the overall energy consumption of buildings [3]. In order to obtain significant primary energy savings, actions can be taken in improving the envelope, the indoor conditions, the heating and cooling systems, etc. [4].

The Directive 2002/91/CE [5] on energy efficiency of buildings, recasted as the Directive 2010/31/CE [6] and recently updated as the Directive 2018/844/UE [7], meant an inflection point in the promotion of energy efficiency of buildings in the EU, taking legal requirements in that perspective, both for new and existing buildings. For that aim, designers and researchers must optimize all the building components (envelope, shading, cooling and heating systems' components and control systems, amongst others), starting from the initial stages under an optimization point of view [8], and so meeting the prescriptions given by the directives while ensuring the indoor thermal comfort [9].

In that sense, energy models have become an essential part of building design. Building energy simulation software allows evaluating the effects of different alternatives and finding optimal solutions. However, in spite of the technological advances, the cost of generating and running complex energy simulations makes it impractical to rely exclusively in a detailed energy modelling to explore and compare the alternatives at design stage [10].

In contrast to these software tools, generally based on dynamic mathematical models, there are steady-state calculation methods. Even though neither of these calculation methods is generally better than the other, the selection of a given tool should rely on the calculation goal and the available data [11]. The increase in the level of detail of the input parameters allows a more detailed calculation but, at the same time, appropriate assumption can simplify and accelerate the modelling process and allows more significant results [12]. Generally, steady-state model are used in regulations to determine the energy behaviour of buildings [13], as well as to meet the general European legislation [7]. Due to its simplicity, the steady-state approach allows to carry out a long-term analysis under different scenarios, covering se-

ción más completa, aunque suposiciones precisas pueden facilitar y acelerar significativamente el proceso de modelado y proporcionar resultados más adecuados [12]. Normalmente, los modelos estacionarios son utilizados en normativas para determinar el comportamiento energético de edificios [13] y para cumplir con la legislación europea general [7]. Debido a su simplicidad, el enfoque estacionario permite realizar un análisis a largo plazo en diferentes escenarios, involucrando medidas de eficiencia energética variadas.

Uno de los principales métodos estacionarios para el cálculo de demanda energética es el método "grados-día". La literatura apunta que la severidad de un clima puede ser caracterizada concisamente en términos de grados día [14]. Esencialmente, los grados día son la suma de las diferencias positivas de temperatura entre una temperatura de referencia y la temperatura exterior promedio diaria a lo largo de un determinado periodo de tiempo [15]. Las variaciones en la temperatura exterior explican la mayor parte de la variación en las demandas de calefacción, pero la relación no es lineal [16]. Sin embargo, generalmente estos métodos no permiten más que un primer cálculo orientativo, con valores de precisión por debajo de los obtenidos con herramientas de simulación dinámica más complejas.

Ante la necesidad de métodos simples que ofrezcan estimaciones de mayor precisión, el presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo un método simple para la estimación de la demanda en base a los principales parámetros de diseño y operativos de un edificio. Mediante la aplicación del método del Diseño de Experimentos a la simulación dinámica de edificios mediante el software Design Builder, se define un modelo de regresión lineal cuadrática que permite relacionar analíticamente la demanda de calefacción de un edificio con los parámetros operativos y de diseño identificados. Se trata de un paso preliminar para el desarrollo de un método de grados día con temperatura base variable y sirve para profundizar en las relaciones de dependencia entre los parámetros explicativos seleccionados y la demanda energética del edificio. La herramienta así desarrollada permitirá realizar un cálculo estimativo rápido del comportamiento energético de un edificio tanto en fase de diseño como de rehabilitación, así como ofrecer al usuario información sobre el uso óptimo del edificio en materia energética. En concreto, en este trabajo se aplicará el modelo desarrollado a la estimación del ahorro energético en calefacción de tres acciones de rehabilitación energética sobre un edificio existente, datos de ahorro que se compararán con aquellos ofrecidos por las herramientas de simulación dinámica o DB.

El resto del trabajo se divide del siguiente modo. En el apartado 2 se presenta la metodología utilizada para el desarrollo del modelo de regresión que se aplica al caso de estudio descrito en el apartado 3, corres-

pondiendo a las medidas de eficiencia energética.

One of the main steady-state methods for the space heating demand determination is the degree-days method. Scientific literature points out that weather severity can be properly characterised in terms of degree-days [14]. Specifically, degree-days are the addition of the positive differences between a reference temperature, known as base temperature, and the daily mean temperature over a given period of time [15]. The outdoor temperature variations explain, to a great extent, heating demand variation, but that relation is not linear [16]. However, generally these methods do not allow nothing but a first exploratory calculation, with an accuracy below that obtained from the application of more complex dynamic simulation tools.

Given the need of simple methods that offer estimation of higher accuracy, this work has as its goal the development of a simple method for the estimation of the space heating demand as a function of the main design and operative parameters of a building. By the application of the Design of Experiments techniques to the dynamic energy simulation of buildings by Design Builder, a linear quadratic regression model is defined, which allows the analytical relationship between the heating demand of a given and the identified operative and design parameters. This is a previous step to the development of a variable base temperature-based degree-days method and allows to deepen into the dependency relationship between the selected explanatory parameters and the heating demand of the building. The developed tool allows to make a fast estimative calculation of the energy behaviour of a building, both under design or retrofitting stages. Specifically, in this work the method will be applied to the heating energy saving estimation of three retrofitting actions applied to an existing buildings, savings that are compared to those obtained by dynamic simulation.

The rest of the work is classified as follows. In Section 2 the methodology developed for obtaining the regression model is presented. This methodology is applied to a case study as presented in Section 3, consisting of a social multifamily building located in the Otxarkoaga district (Bilbao). The so obtained model, as well as the associated response surfaces, are presented in Section 4 where, additionally, the validation of the model is done by intercomparison of the estimations of the model with those obtained from the Design Builder simulation. Finally, the main conclusions are summed-up in Section 5.

2. Methodology

The methodology of DoE (Design of Experiments) has been considered for selecting the scenarios that have been used to develop the simple model and for the development of the model [17]. DoE allows applying statistical techniques and other tools

pondiente a un edificio de vivienda social ubicado en el barrio de Otxarkoaga (Bilbao). El modelo obtenido, así como la interpretación de los resultados arrojados por el mismo se presentan en el apartado 4 donde, adicionalmente, se realiza la validación del modelo intercomparando las estimaciones de ahorro energético predichas por el mismo con aquellas ofrecidas por la simulación dinámica mediante Design Builder. Finalmente, las principales conclusiones del trabajo se presentan en el apartado 5.

2. Metodología

La metodología utilizada para la selección de escenarios utilizados para el desarrollo del modelo simple y el propio desarrollo del modelo es el Diseño de Experimentos o DoE (Design of Experiments) [17]. El DoE permite aplicar técnicas estadísticas y otras herramientas matemáticas al estudio de procesos complejos, para determinar de manera analítica la influencia de múltiples factores de forma simultánea. Mediante la aplicación de este tipo de técnicas, se puede analizar no sólo el peso de cada uno de los parámetros de diseño en el resultado final, sino también las interrelaciones que se pueden dar entre ellos.

En este caso, el proceso que se analizará es el comportamiento energético de un edificio, específicamente las necesidades energéticas anuales que son necesarias para mantener un nivel de confort térmico adecuado. Con el objetivo de determinar las variables de entrada del modelo, se analiza el efecto de diferentes aspectos del diseño del edificio como la forma, el volumen acondicionado, las características de acristalamiento y el nivel de aislamiento. Como punto de partida para el análisis, se han identificado 11 parámetros de diseño independientes para explicar la demanda de calefacción de un determinado edificio. En concreto, se selecciona la demanda específica del edificio, puesto que permite incluir los posibles efectos que la alteración de las variables independientes pueda tener en el área total acondicionada.

Para observar la influencia del aislamiento, se estudian distintos espesores de aislante térmico en fachada (e_f) y en cubierta (e_c). Del mismo modo, se considera el efecto del porcentaje de huecos (P_v), la transmitancia térmica del vidrio (U_v) y el factor solar del mismo (g), puesto que permiten obtener datos sobre la superficie de acristalamiento y su distribución. También ha sido necesario considerar otros parámetros para simular diferentes situaciones de uso, como la tasa de renovación de aire (ach), la temperatura de consigna (T_{sp}) y las ganancias internas (Q_i). Asimismo, la inercia térmica fue considerada mediante espesor de ladrillo por la parte interior del aislamiento tanto en fachada (l_f) como en cubierta (l_c). Por último, la orientación (o_r) fue elegida como elemento pasivo a ser estudiado. De cara a un análisis detallado, estos once parámetros pueden ser

for studying complex processes, to valuate in an analytic manner the effects of different factors that control the value of an objective parameter in a simultaneous way. By applying these techniques, not only the effect of each parameter in the design of the final result can be assessed, but also the existing interactions amongst those parameters.

In this case, the evaluated process is the building energy performance, specifically, the yearly energy demands for maintaining an adequate indoor thermal comfort. With the aim of determining the input variables of the model, the effect of different design parameters will be analysed (such as geometry, conditioned volume, glazing features and thermal insulation level). As a starting point, 11 independent parameters have been identified for explaining the heating demand of a given building. Namely, specific heating demand (kWh/m^2) is chosen, since it allows taking into consideration the effect that the modification of the different independent variables may have on the total conditioned area.

In order to evaluate the impact of thermal insulation, different insulation thicknesses for façade (e_f) and roof (e_c) are considered. In the same way, percentage of glazing area (P_v), glazing thermal transmittance (U_v) and g-value (g) are included, because they are useful to take into consideration data related to glazing area and its distribution. With the aim of considering different use scenarios, other parameters had to be contemplated, such as air renovation rate (ach), setpoint temperature (T_{sp}) and internal gains (Q_i). In addition, thermal inertia is considered by modifying the brick thickness, both in façade (l_f) and in roof (l_c). Finally, orientation is also considered as a passive element to be assessed. For a detailed analysis, these eleven parameters can be classified in three different categories: design parameters, operation parameters and retrofit-related parameters. Some of them can be included in different categories, such as thermal insulation, which can be considered both in the building design stage and during a retrofitting stage.

If the general case of a 2-level-factorial design is considered as starting point, the amount of experiments needed would be $2^{11} = 2048$, which would involve an important computational effort. Moreover, that situation would allow only evaluating lineal effects, keeping out of the assessment the inclusion of quadratic terms and the possible curvature of the response variable. With the aim of reducing the amount of simulation and having the possibility of include quadratic terms, a factorial design of $2^7 = 128$ (resolution V) is planned, complemented with a central composite design with $\alpha=0.5$, and two additional central evaluations. As a consequence, set of 153 simulations is obtained. The 11 design parameters considered, along with their lower and upper limits are listed in Table 1.

clasificados en tres niveles: parámetros de diseño, de operación y de rehabilitación del edificio. Algunos parámetros pueden ser incluidos en varios niveles, tales como el caso del aislamiento de fachada, pudiendo actuar sobre el tanto en fase de diseño, como en una acción de rehabilitación de la envolvente.

Dynamic simulations of selected scenarios are carried out using the software "Design Builder". It is a commercial software based on Energy Plus which makes easy implementing the necessary changes for defining the different scenarios.

Parámetro	Descripción	Límite inferior	Límite superior
		(-1)	(1)
e_f	Espesor de aislante en fachada (m)	0	0,3
e_c	Espesor de aislante en cubierta (m)	0	0,3
U_v	Transmitancia térmica de las ventanas (W/m ² K)	0,774	5,840
g	Factor solar del vidrio	0,2	0,99
P_v	Porcentaje de ventanas (%)	10	90
ach	Tasa de renovación del aire (ren/h)	0	2
Q_i	Ganancias internas (W/m ²)	0	15
i_f	Inercia en fachada (m)	0	0,5
i_c	Inercia en cubierta (m)	0	0,5
T_{sp}	Temperatura de consigna (°C)	18	22
o_r	Orientación (°)	0	180

Tabla 1.

Resumen de los parámetros de diseño junto con los límites inferior y superior de evaluación.

Si se considera, como punto de partida, el caso general de un diseño factorial de 2 niveles, el número de experimentos a realizar sería de $2^{11} = 2048$, lo que supondría un esfuerzo computacional muy elevado. Además, solo permitiría analizar efectos lineales, dejando fuera del análisis la inclusión de términos cuadráticos y la posible curvatura de las variables de respuesta. De cara a reducir el número de experimentos/simulaciones y abrir la posibilidad de incluir efectos cuadráticos, se plantea un diseño factorial de $2^7 = 128$ (manteniendo una resolución V) complementado con un diseño compuesto central con $\alpha=0,5$ y 2 evaluaciones centrales adicionales. Esto resulta en un total de 153 simulaciones o experimentos. En la Tabla 1 se resumen los 11 parámetros de diseño seleccionados junto con los límites inferior y superior para el diseño factorial.

La simulación de los escenarios se realiza mediante el software de simulación dinámica Design Builder. Se trata de un software comercial que permite una rápida reconfiguración de diseños y que utiliza el software EnergyPlus como motor de cálculo.

3. Caso de estudio

Aunque el objetivo final de este proceso es aplicar la metodología propuesta a diferentes tipologías de edificios y climas, el presente trabajo se centra en el análisis de un único edificio y zona climática. Para ello, se utiliza como referencia un bloque de viviendas del barrio de Otxarkoaga, Bilbao. Dentro de la heterogeneidad existente en el parque de viviendas, el edificio presenta unas características representativas dentro del parque de viviendas de la región y un

3. Case-study

The final objective of this research work is to develop a method suitable to be applied to any kind of building, regardless its geometry and climate conditions. However, this work is focused on the assessment of one building (with a specific geometry) and climate zone. Even though the existing heterogeneity of the building stock, this building has representative features of the building stock of the region, and a high possibilities of replicability [18], as has been analysed in detail in previous research pieces [19]. It consists of a social housing, 6-storey multifamily building from the 1960's, which contains 36 dwelling units, each of them with a net floor area of 50–55 m² (Fig. 1).

As far as constructive features are concerned, external walls of the dwelling are composed by two layers of hollow bricks separated by an air gap, a fibre-glass layer and another hollow-brick layer, with a resulting U-value of 0.74 W/m².K, whereas the U-value assumed for the roof has been 2.842 W/m².K. Regarding windows, a PVC frame (U=3.476 W/m².K) was assumed in all cases, and the percentage of glazing area is equally applied to every façades of the building (a more detailed description of the building envelop can be found in [19]).

On the other hand, some simplifications were assumed, which, in any case, were considered to have no influence on the consistence of results. For instance, tilted roof has been modelled as a flat roof, with the aim of increasing the generalization of the resulting model.

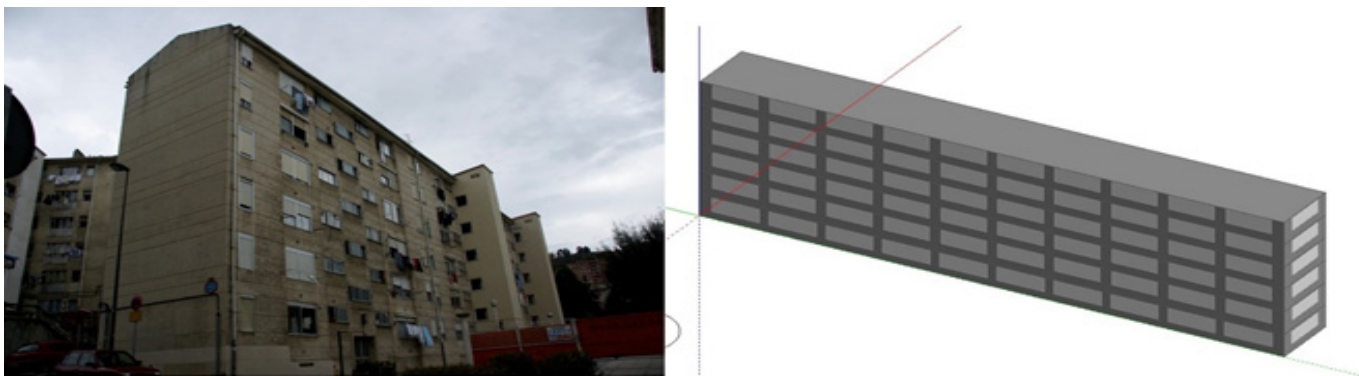


Figura 1. Vista del bloque de viviendas en estudio (izquierda) y modelo térmico en Design Builder (derecha).

alto grado de replicabilidad [18], además de haber sido analizado en detalle en anteriores estudios [19]. Se trata de un bloque de vivienda social construida en la década de los 60 (Fig. 1) y cuenta con 36 viviendas repartidas en 6 alturas, con aproximadamente 55 m² por vivienda.

En lo referente a características constructivas, las paredes externas del edificio están compuestas por dos capas de ladrillo hueco separadas por una cámara de aire, una capa de aislamiento de fibra de vidrio y una tercera hoja de ladrillo, presentando una U de 0.74 W/m².K, mientras que en cubierta el escenario base presenta una U de 2.842 W/m².K. Como material aislante, tanto en la fachada como en la cubierta del edificio, se consideró la lana de vidrio (U=0,04 W/mK). Con respecto a las ventanas, se consideraron marcos de PVC (U=3,476 W/m²K) para todos los casos y el porcentaje de ventanas es aplicado a todas las fachadas del edificio. (Se puede encontrar una descripción detallada de la envolvente térmica de este edificio en [19])

Figura 2. Presentación gráfica de la distribución de las demandas específicas obtenidas de las simulaciones.

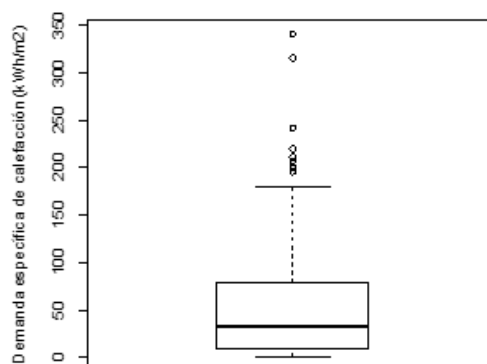
Por otro lado, se realizaron algunas simplificaciones en el diseño del edificio para realizar las simulaciones, que en cualquier caso no influyen en la representatividad de los resultados. En vez de considerar una cubierta inclinada con una bajo-cubierta no habitable, se ha supuesto una cubierta plana, con el objetivo de aumentar la generalización de modelo resultante.

4. Resultados

El análisis del total de las 153 simulaciones realizadas permite obtener una descripción completa del efecto de los distintos parámetros, así como las potenciales interacciones entre ellos. Debido a que la variación de algunos parámetros conlleva variaciones del área total acondicionada, se toma la demanda específica de calefacción (kWh/m²) como variable dependiente. En la Fig. 2 se muestra la distribución de las demandas específicas obtenidas, mostrando el valor promedio, las desviaciones estándar y los extremos superior e inferior de las demandas obtenidas.

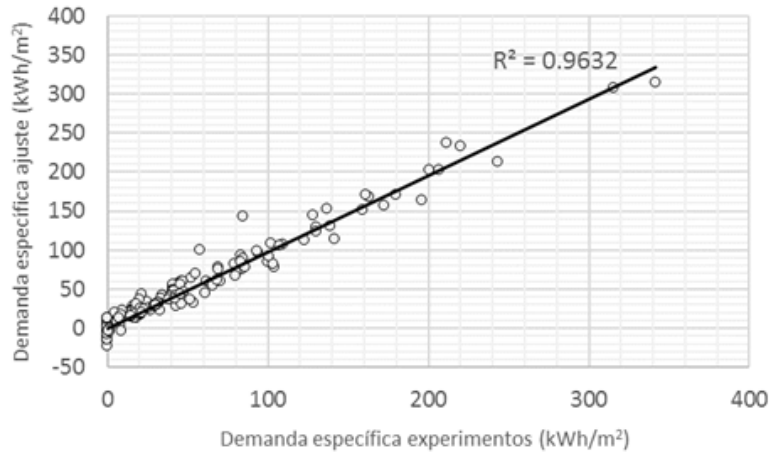
4. Results

The 153 simulation analysis carried out allows obtaining a complete description of the different parameters effects, as well as the potential interactions between them. Since some parameters variation leads to differences in the total conditioned building area, the space heating specific demand (kWh/m²) was considered as a dependent variable. Fig. 2 presents the distribution of the obtained specific demands, as well as the average, the standard deviations and the upper and lower limits of the obtained demands.



Once results are interpreted, linear regression techniques allows obtaining an analytical expression that explains the relation between the independent variables or designs parameters and the dependent variable or heating specific demand. Thus, after evaluating different models, the best results were shown by quadratic linear regression of 9 factors. The roof inertia and insulation parameters showed no significant influence in explaining variations in the space heating specific demand. Even though other parameters also showed small influence in the resulting model, they were maintained since their elimination from the regression do not reveal improvement in the adjustment.

Por medio de la evaluación de los resultados obtenidos es posible obtener mediante técnicas de regresión lineal, una expresión analítica que explique una relación entre las variables independientes o parámetros de diseños y la variable dependiente o demanda específica de calefacción. Se han evaluado distintos modelos y se ha obtenido que los mejores resultados se obtienen mediante regresión lineal cuadrática de 9 factores. Los factores asociados a la inercia y aislamiento de la cubierta no han mostrado influencia suficiente para explicar variaciones significativas en la demanda específica. Del modelo resultante, si bien la influencia de algunos factores es muy reducida, su eliminación del problema de regresión no ofrece mejoras en el ajuste, por lo que se ha decidido mantenerlas.



Así, el modelo puede ser definido según la ecuación (1):

Therefore, the resulting regression model equation is presented as follows:

$$Heating\ demand = Constant + \sum_{i=0}^n Comp_i \cdot Coef_i$$

Figura 3. Comparación de las demandas obtenidas de las simulaciones con las estimaciones ofrecidas por el modelo.

Comp.	Coef.	Comp.	Coef.	Comp.	Coef.	Comp.	Coef.
Constante	53.634	P _v ²	5.91	i _f	12.544	Q _i ·T _{sp}	-790.266
e _f	-47.055	ach	333.139	e _f ·i _f	113.787	i _f ·T _{sp}	432.6
e _f ²	9.755	e _f ·ach	-181.938	U _v ·i _f	387.934	T _{sp} ²	11.887
U _v	307.975	U _v ·ach	947.061	g·i _f	-40.435	or	3.191
e _f ·U _v	375.413	g·ach	-404.951	P _v ·i _f	808.467	e _f ·or	-396.811
U _v ²	-21.265	P _v ·ach	-29.185	ach·i _f	815.111	U _v ·or	-414.053
g	-144.382	ach ²	21.539	Q _i ·i _f	113.627	g·or	-10.229
e _f ·g	-79.037	Q _i	-289.093	i _f ²	1.929	P _v ·or	-205.642
U _v ·g	-617.593	e _f ·Q _i	304.449	T _{sp}	246.391	ach·or	6.4
g ²	25.741	U _v ·Q _i	-828.37	e _f ·T _{sp}	-315.623	Q _i ·or	174.633
P _v	144.441	g·Q _i	551.671	U _v ·T _{sp}	1438.627	i _f ·or	146.528
e _f ·P _v	844.099	P _v ·Q _i	128.043	g·T _{sp}	-519.543	T _{sp} ·or	277.454
U _v ·P _v	2500.674	ach·Q _i	-1048.399	P _v ·T _{sp}	757.092	or ²	43.36
g·P _v	-1134.152	Q _i ²	27.927	ach·T _{sp}	1606.331		

Tabla 2. Tabla resumen de los componentes y coeficientes del modelo de regresión lineal cuadrático para la predicción de la demanda específica de calefacción.

El ajuste resultante ofrece una R² ajustada de 94.36% y un residual promedio de 7.24±8,63 kWh/m², un buen ajuste tal como se puede observar en la Fig. 3.

The resulting adjustment offers an R² of 94.36% and an average residual of 7.24±8.63 kWh/m², therefore a good adjustment, as can be seen in Fig. 3.

Una vez obtenido el modelo de regresión ajustado, es posible aplicar el método de las superficies de respuesta que, a su vez, permite evaluarlo gráficamente para interpretar los efectos lineales, cuadráticos y combinados de los parámetros de diseño explicativos, sobre la variable explicada. Cada superficie de respuesta permite observar cómo se altera la variable explicada cuando se modifican dos parámetros de diseño manteniendo el resto constantes. Para

Once the adjusted regression model was obtained, the response surface method can be applied to graphically assess the linear, quadratic and combined effects of the design parameters on the dependent variable. Each response surface allows to observe how the space heating specific demand changes when two design parameters are modified while keeping the others constant. The most significant parameters interactions were selected for better

una mayor claridad, se han seleccionado aquellas interacciones entre parámetros que permiten obtener conclusiones más relevantes. La variación de cada parámetro se representa considerando el nivel inferior (-1) y superior (1), tal como se describen en la Tabla 1.

understanding. The parameters variation was represented considering the upper (1) and lower (-1) limits, as presented in Table 1.

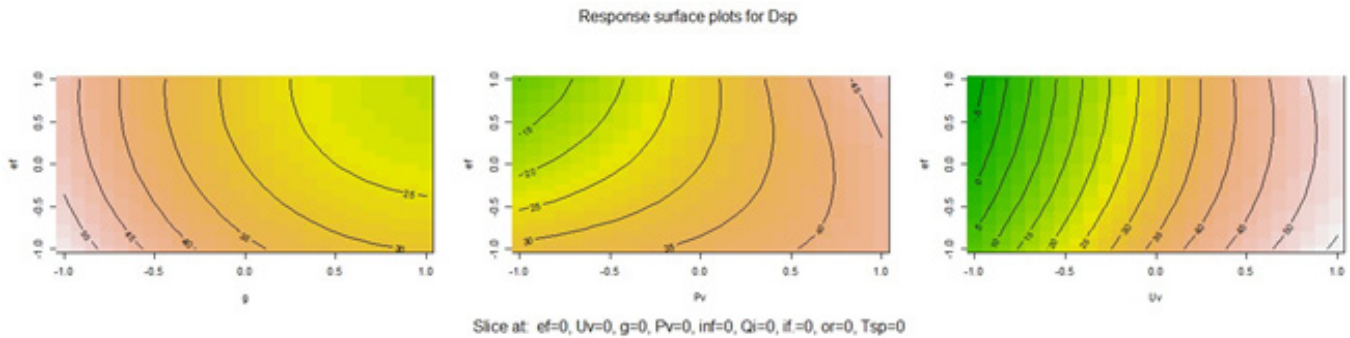


Figura 4.
Superficies de respuesta.
(a) $e_f \times g$ (b) $e_f \times P_v$ (c) $e_f \times U_v$

Como se muestra en la Fig. 4, de manera general, el aumento del espesor de aislante en la fachada provoca una disminución de la demanda de calefacción. Ese incremento es más significativo para valores de g , P_v y U_v inferiores al valor central (0), debido a que esto reduce las ganancias solares, que ayudarían a reducir las necesidades efectivas de calefacción. Respecto al factor solar, g , es relevante mencionar que, generalmente, en la práctica no suelen encontrarse vidrios con valores inferiores al valor central aquí planteado ($g=0,595$).

Por otro lado, también se identifica el punto – próximo al valor 0 e_f en la Fig. 4 (a), (b) y (c) – en el que el efecto de añadir más aislamiento se ve reducido de forma asintótica, es decir, después de un punto para el cual el espesor de aislante es óptimo, el incremento de esta variable no supone una disminución significativa en la demanda. Para la Fig. 4(c) esta particularidad se observa en todos los valores de U_v a partir del valor central de e_f (0). En efecto, para un porcentaje de ventanas alto ($P_v > 0,5$) el aumento de e_f por encima del valor central implica un aumento de la demanda de calefacción. Por último, la Fig. 4(c) también permite observar que la variación de U_v es mucho más significativa en la demanda de calefacción que la variación de e_f .

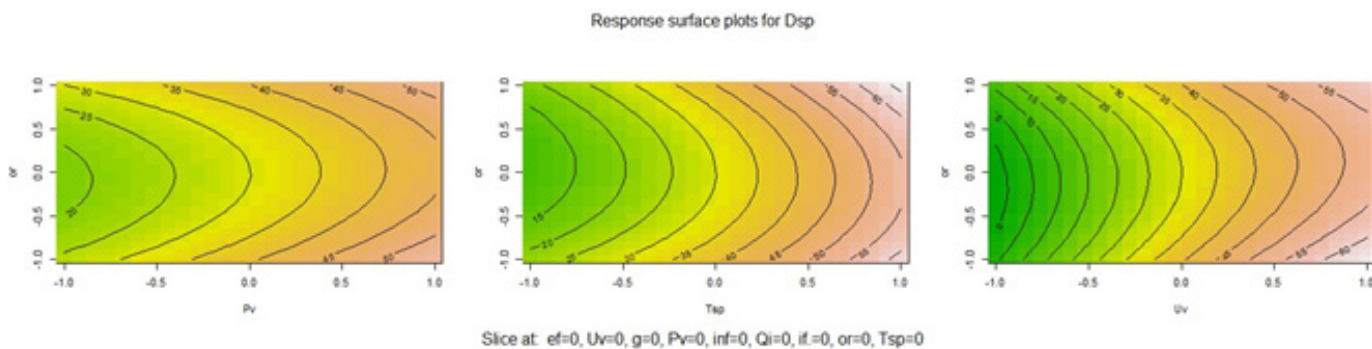
En las superficies de respuesta que relacionan la orientación con otros parámetros se observa que, para todas las variables, se puede identificar una orientación ideal en la cual se reduce la demanda de calefacción. Este fenómeno se observa alrededor de la orientación 0, referente a 90° , como se muestra en la Fig. 5. Esto se debe a que para esta posición se maximizan las ganancias solares, especialmente durante esas horas donde las necesidades de calefacción son mayores debido a unas menores temperaturas exteriores (ganancias por el este al amanecer y por el oeste al atardecer).

As presented in Fig. 4, in general, the façade insulation layer increase leads to a decrease in the specific heating demand. This condition is more significant for g , P_v and U_v values lower than central (0), since the solar gains that would help to reduce the effective heating needs are affected. It is worth mentioning that, in practice, there are usually no glasses with g values lower than the central proposed in this study here ($g=0,595$).

On the other hand, it can be seen that once a certain amount of insulation is applied - close to 0 e_f in Fig. 4(a), (b) and (c) - the marginal effect of adding more insulation becomes negligible, i.e., after a point for which the insulation thickness is optimal, increasing this variable does not imply a significant decrease in the heating demand. In Fig. 4(c) this condition is observed in all U_v values from the central point of e_f (0). In fact, for a high glazing area ($P_v > 0,5$), the increase of e_f above the central value implies an increase in the specific heating demand. Finally, Fig. 4(c) also allows observing that the variation of U_v has a more significant impact in the heating demand than the variation of e_f .

The response surfaces that correlate the orientation with other parameters show that, for all the variables, an ideal orientation in which the heating demand is reduced can be identified. This condition is observed around orientation 0, which refers to 90° , as shown in Fig. 5. Also, for this position the solar gains are maximized, especially during the period where heating needs are higher due to lower external temperatures (this configuration takes advantage from gains from the east at sunrise and from the west at sunset).

Response surfaces also allow to identify that the thermal inertia in façade parameter, in most cases considered in the study, does not have much influence on the specific heating demand. It should



Las superficies de respuesta también permiten identificar que la inercia de fachada es un parámetro que, en la mayoría de los casos considerados en el estudio, no tiene mucha influencia en la demanda de calefacción. Cabe mencionar que, en algunos casos, (e.g. los que presentan tasas altas de renovación del aire y porcentaje de ventanas), el incremento de la inercia provoca un aumento de la demanda de calefacción. Esta situación se circunscribe a las características específicas de la climatología seleccionada (Bilbao), ya que en este caso, sería necesario un aporte mayor de calor para que la inercia compense las pérdidas por infiltración y ventilación. Hay que considerar que esta inercia se ha colocado por el interior de la capa de aislamiento, con el objetivo que el calor acumulado se descargue hacia el espacio acondicionado. Asimismo, es destacable que el alto porcentaje de ventanas provoca una menor área de muro y, en ese caso, la inercia no compensaría las pérdidas producidas por la superficie acristalada.

De un modo general, en lo que se refiere a las variables de operación, como pueden ser la temperatura de consigna y la tasa de renovación del aire - que incluye la infiltración y la ventilación - cuanto mayores sean estos parámetros, mayor será la demanda de calefacción. El análisis de las superficies de respuesta permite concluir que en estos casos las ganancias internas reducen la demanda significativamente.

La validación del modelo es posiblemente el paso más importante cuando se trata de determinar un modelo de predicción, principalmente cuando se emplean múltiples parámetros. La validación y el análisis de casos diferentes a los considerados para obtener el modelo proporcionarían buenas respuestas de la precisión del mismo [20].

En consecuencia, para la validación del modelo propuesto en este trabajo tomamos como base cuatro casos, siendo uno de referencia y tres medidas de rehabilitación, definidos en [19]. Para los casos de validación, algunos parámetros no varían (P_v , ach , Q_i , i_f , T_{sp} , or), manteniendo los parámetros presentados en el estudio original. Los demás parámetros considerados para los cuatro casos analizados se resumen en la Tabla 3.

be pointed out that, in some cases, (e.g., those with high ach and P_v), the thermal inertia increase leads to an increase in heating demand. This circumstance is limited to the specific characteristics of the chosen climatology (Bilbao), since for this case, a greater heat contribution would be necessary for the inertia to compensate the infiltration and ventilation losses. We must consider that the referred thermal inertia has been placed from the inside of the insulation layer, with the aim to discharge the accumulated heat into the conditioned space. Furthermore, it is noteworthy that the high percentage of glazing area causes a smaller wall area and, in that case, the thermal inertia would not compensate the glazed surface losses.

In general, regarding the operation variables, the higher the setpoint temperature and the air change ratio, the higher the specific heating demand. The response surface assessment allows to conclude that, for all the cases, the internal gains reduce the demand significantly.

Model validation is possibly the most important step when trying to determine a prediction model, especially when multiple parameters are involved. Validating and analysing cases other than those considered to obtain the model will provide good estimations of the model accuracy [20].

Thus, for the validation of the prediction model proposed in this study, four cases are considered as a base, being one case of reference and three retrofitting situations, defined in [19]. For the validation cases, a few parameters do not vary (P_v , ach , Q_i , i_f , T_{sp} , or), maintaining the parameters values presented in the original study. The other variables considered for the four cases are summarized in Table 3.

In this sense, Table 4 compared the specific annual heating demands predicted by the regression models with those obtained by dynamic simulation for those cases presented in Table 3 for the climate of Bilbao. Additionally, it presents the specific annual heating demand obtained by the prediction model presented in this study and the energy savings that the retrofitting scenarios imply in comparison with the reference case.

Figura 5.
Superficies de respuesta.
(a) $or \times P_v$ (b) $or \times T_{sp}$ (c) $or \times U_v$

Tabla 3.
Parámetros asumidos para los casos de validación.

	e_f (m)	e_c (m)	U_v (W/m ² K)	g
Caso de referencia	0,02	0	3,180	0,74
Acción BAU	0,06	0,06	2,766	0,703
Acción Mejorada	0,08	0,14	1,967	0,598
Acción Estándar	0,14	0,2	1,057	0,474

	Experimentos			Experimentos		
	Demanda específica (kWh/m ²)	Ahorro en calefacción		Demanda específica (kWh/m ²)	Ahorro en calefacción	
		(kWh/m ²)	(%)		(kWh/m ²)	(%)
Caso de referencia	28,334			26,962		
Acción BAU	19,741	8,59	30%	21,573	5,39	20%
Acción Mejorada	13,515	14,82	52%	16,329	10,63	39%
Acción Estándar	10,456	17,88	63%	9,085	17,88	66%

Tabla 4.
Comparación de las demandas obtenidas para los casos de validación.

De esta manera, la Tabla 4 muestra la demanda anual específica encontrada tras correr simulaciones energéticas con los parámetros presentados en la Tabla 3 para el clima de Bilbao. Además, expone los valores de demanda específica anual obtenida por el modelo de predicción presentado en este trabajo y los ahorros energéticos que las acciones de rehabilitación implican en comparación con el caso de referencia.

Como muestra la Tabla 4, hay una buena aproximación entre los resultados obtenidos por el modelo de predicción y aquellos determinados por simulaciones energéticas. También se puede concluir que el modelo predice con precisión los ahorros que las acciones de rehabilitación implican.

5. Conclusiones

El presente estudio ha presentado la modelización y validación de una herramienta de predicción de demanda de calefacción para la climatología de Bilbao, en el norte de España. Para ello, se han analizado numerosos aspectos relativos al diseño y operación de edificios residenciales, seleccionado 11 parámetros de diseño independientes, y un intervalo de diseño para los mismos lo suficientemente amplio para contener toda la casuística posible en diseños reales de edificios. A partir de la aplicación del Diseño de Experimentos, se han realizado un total de 153 simulaciones, resultantes de aplicar un diseño factorial y un diseño central compuesto. Del análisis de los resultados, mediante técnicas de regresión lineal, se ha determinado una relación entre estas variables independientes y la demanda específica de calefacción. Este modelo es aplicable en distintos ámbitos permitiendo la estimación inmediata de la demanda energética de calefacción, tanto en fase diseño de nuevos edificios como para plantear acciones de rehabilitación sobre edificios existentes.

As presented in Table 4, there is a good approximation between the results obtained by the prediction model and those determined by dynamic energy simulations. From this analysis, it is concluded that the model accurately predicts the energy savings that the retrofitting actions imply.

5. Conclusions

This paper has presented the development and validation of a space heating demand prediction tool for the specific climatology of Bilbao, in northern Spain. For this purpose, the most relevant design and operational aspect for residential buildings were taken into consideration. Specifically, 11 independent design parameters were selected, each of them being ranged to contain all the possible casuistry present in actual building designs. From the application of Design of Experiments techniques, a total of 153 simulations were carried out, resulting from applying a factorial design together with a central composite design. The results allowed obtaining, through linear regression techniques, an analytical relationship between the independent variables and the specific heating demand. Thus, this model is applicable in different scenarios, allowing estimating the heating specific demand both during design phase of new building or when assessing retrofitting actions for existing buildings.

The resulting quadratic linear regression model allows to obtain predictions of the specific demand, with an adjusted R^2 of 94.36% and an average residual for the estimations of 7.24 ± 8.63 kWh/m. The model was validated by comparison of the estimations by the regression model with those obtained from Design Builder simulations. In conclusion from these results, there is a very good concurrence between the model estimations and those obtained by dynamic simulation. However, the exclusive estimation of heating demands, as well as the dependence

El modelo de regresión lineal cuadrático resultante permite obtener predicciones de la demanda específica, con una R^2 ajustada de 94.36% y un residual promedio de las estimaciones realizadas de $7,24 \pm 8,63$ kWh/m². El modelo se ha validado mediante comparación de las estimaciones con las ofrecidas por Design Builder para tres acciones de rehabilitación sobre un mismo edificio de referencia. De estos resultados, es posible concluir que existe una muy buena concordancia entre las estimaciones realizadas por el modelo y aquellas obtenidas mediante simulación dinámica. A pesar de esta potencialidad, la versión actual presenta entre sus principales limitaciones, su limitación a la estimación exclusiva de demandas de calefacción, así como la dependencia de los resultados obtenidos a una tipología de edificios concreto, residencial, y a unas condiciones climáticas específicas.

En resumen, el modelo de predicción propuesto muestra funciones prometedoras, pudiendo ser utilizada por los distintos agentes que intervienen en la fase de diseño de proyectos de rehabilitación energética, sirviendo de apoyo en la identificación de soluciones energéticas eficientes. De esta manera, este estudio supone un primer paso hacia el desarrollo de modelos simples con sensibilidad para incluir condiciones climáticas variables. A futuro, se pretende extender la metodología aquí presentada para el desarrollo de un método simple de grados día con temperatura base variable en función de los parámetros de diseño seleccionados.

of the results to a specific residential building typology and climatic conditions, constitute a major limitation.

To conclude, the proposed prediction model shows promising functionalities, which can be used by used by the different agents involved in the design phase of new buildings or energy retrofitting projects, supporting the identification of efficient energy solutions. In this way, this study represents a first step towards the development of simple models to include variable climatic conditions. In the future, the extension of the methodology presented here is intended with the aim of developing a simple day-grade method with variable base temperature as a function of the selected design parameters.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] E. Burleson, "Paris Agreement and Consensus to Address Climate Challenge," ASIL INSIGHT, Forthcom., p. 19, 2016.
- [2] G. S. Lakshmi, G. S. Rathore, R. Sharma, A. Anand, S. Sharma, and A. S. Hada, "Energy Statistics," p. 121, 2017.
- [3] Eurostat, "Energy consumption in households - Statistics Explained." 2018.
- [4] K. K. W. Wan, D. H. W. Li, and J. C. Lam, "Assessment of climate change impact on building energy use and mitigation measures in subtropical climates," *Energy*, vol. 36, no. 3, pp. 1404–1414, Mar. 2011.
- [5] European Parliament, "DIRECTIVE 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council." 2002.
- [6] European Parliament, "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council." 2010.
- [7] European Parliament, "DIRECTIVE (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council," 2018.
- [8] A. T. Nguyen, S. Reiter, and P. Rigo, "A review on simulation-based optimization methods applied to building performance analysis," *Appl. Energy*, vol. 113, pp. 1043–1058, 2014.
- [9] L. Yang, H. Yan, and J. C. Lam, "Thermal comfort and building energy consumption implications - A review," *Appl. Energy*, vol. 115, pp. 164–173, 2014.
- [10] N. Kumar Muthumanickam et al., *Investigation of Energy Modelling Methods of Multiple Fidelities: A Case Study*. 2018.
- [11] A. Rabl, L. Norford, and J. Spadaro, "Steady State Models for Analysis of Commercial Building Energy Data.
- [12] L. G. Swan and V. I. Ugursal, "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 8, pp. 1819–1835, Oct. 2009.
- [13] M. De Rosa, V. Bianco, F. Scarpa, and L. A. Tagliafico, "Heating and cooling building energy demand evaluation; a simplified model and a modified degree days approach," *Appl. Energy*, vol. 128, pp. 217–229, Sep. 2014.
- [14] M. Christenson, H. Manz, and D. Gyalistras, "Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland," *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 6, pp. 671–686, Apr. 2006.
- [15] T. CIBSE, *Degree-days: theory and application*. 2006.
- [16] D. Lindelöf, "Bayesian estimation of a building's base temperature for the calculation of heating degree-days," *Energy Build.*, vol. 134, pp. 154–161, Jan. 2017.
- [17] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 8th editio. 2012.
- [18] J. Terés-Zubiaga, K. Martín, A. Erkoreka, and J. M. Sala, "Field assessment of thermal behaviour of social housing apartments in Bilbao, Northern Spain," *Energy Build.*, vol. 67, pp. 118–135, Dec. 2013.
- [19] J. Terés-Zubiaga, A. Campos-Celador, I. González-Pino, and C. Escudero-Revilla, "Energy and economic assessment of the envelope retrofitting in residential buildings in Northern Spain," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 194–202, 2015.

DREEAM – Reformas de viviendas a gran escala para lograr máximo ahorro energético

DREEAM - Large-scale housing reforms to achieve maximum energy savings

Maria I. Cubillo-Sagüés¹, Daniel Gordaliza², Alejandra Ramírez de Cartagena³, Olman Araya⁴

ABSTRACT

DREEAM es un proyecto de I+D financiado por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea.

El objetivo fundamental del proyecto es mostrar que las reformas energéticas en edificios del sector residencial aplicadas a gran escala permiten la integración de energías renovables y hacen que aumente la rentabilidad de las actuaciones. Se trata de conseguir una gran reducción del consumo, de hasta un 75%, de un conjunto de edificios teniendo en cuenta la capacidad financiera de los propietarios y las preferencias de los inquilinos.

DREEAM pretende demostrar que, combinando diferentes tecnologías de reducción de demanda, generación renovable y almacenamiento de energía de forma adecuada, se obtienen paquetes de soluciones rentables a escala multi-edificio (multi-building). Estas medidas no se suelen abordar en inmuebles aislados, debido a su falta de rentabilidad.

Para ello, una de las aplicaciones principales que se está llevando a cabo en DREEAM es la creación de una herramienta de software que calcule, diferentes paquetes de medidas de ahorro energético y su rentabilidad, para el estudio de las reformas energéticas de distintos grupos de edificios a gran escala.

El proyecto se centra en la vivienda social y pública, que representa el 12% del parque inmobiliario de la Unión Europea, cuyos propietarios gestionan muchos edificios residenciales con gran potencial de mejoras en el rendimiento energético. Actualmente se realizan demostraciones en tres regiones europeas: Reino Unido, Italia y Alemania.

Una vez determinadas las diferentes medidas de ahorro energético de los tres pilotos según la tipología de las viviendas, la tipología de los suministros energéticos y la capacidad financiera de los propietarios; se diseña, instala y gestiona un sistema de monitorización en cada uno de ellos, que permite medir los consumos y las variables que afectan a dichos consumos, un año antes, durante y un año después de la realización de las mejoras.

El cálculo de los ahorros energéticos y económicos se realiza siguiendo el IPMVP (Opción C), con el valor añadido de que la monitorización ayuda a reducir al máximo la incertidumbre en los cálculos de ahorro y a disponer de una base de datos para poder extrapolar los resultados finales del proyecto a gran escala.

Durante los dos primeros años del proyecto se han medido los consumos previos a acometer las medidas, determinado el perfil de consumo de referencia. Durante el tercer año se han llevado a cabo las mejoras en los pilotos. Y este último año, se está realizando una comparativa entre el consumo de referencia y el monitorizado después de las mejoras realizadas.

Una vez transcurrido el periodo demostrativo de ahorro, se podrá verificar con un mínimo nivel de incertidumbre el ahorro real generado dentro del proyecto DREEAM

Key Words: I + D, Monitorización, IPMVP, Verificación de ahorros energéticos, Multibuilding

(1) 1 Directora General C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid, +34 913456073, micubillo@sinceo2.com. (2) Jefe de Proyecto C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid (3) Jefa de Proyecto C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid (4) Doctorando C/ Arte 21, PL1 28033 Madrid

1. Introducción

DREEAM es el acrónimo de 'Demonstrating an integrated Renovation approach for Energy Efficiency At the Multi-building scale'. Se trata de un proyecto de I+D financiado por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea y conformado por diferentes socios que participan en el mismo desarrollando diferentes trabajos.

El objeto fundamental del proyecto DREEAM es identificar combinaciones de tecnologías óptimas, que por un lado puedan ofrecer una mayor reducción del consumo de energía para un conjunto de edificios (de hasta el 75%) [1] y al mismo tiempo tengan en cuenta la capacidad financiera de los propietarios y las preferencias de los inquilinos.

Los enfoques actuales de renovación en el sector residencial no están utilizando una perspectiva de sistemas de energía integrados ni están considerando adecuadamente el espectro de posibles interacciones entre los tamaños, las escalas y las configuraciones de los edificios. Esto es una barrera para iniciar y lograr proyectos de renovación estándar replicables. El enfoque propuesto por el proyecto DREEAM podría contribuir a un 30% adicional de reducción de la demanda de energía fósil (primaria) además del 45-55% ahorrado actualmente por las renovaciones convencionales del mercado [2].

El proyecto se centra en la vivienda social y pública que representa el 12% del parque inmobiliario de la Unión Europea cuyos propietarios gestionan muchos edificios residenciales con gran potencial de mejoras en el rendimiento energético [3].

Los proyectos piloto seleccionados se encuentran en Reino Unido, Italia y Alemania. Las tres tipologías de los edificios se corresponden con:

- Un grupo de viviendas unifamiliares adosadas con suministros individualizados de electricidad y gas natural en alguna de las viviendas, ubicadas en Reino Unido.
- Dos edificios de viviendas de varias alturas con suministros de electricidad y gas natural individualizados por vivienda, ubicados en Italia.
- Varios edificios de viviendas de distintas alturas con suministro de electricidad individualizado por vivienda y aporte térmico centralizado por un district heating, ubicado en Alemania.

En el caso de las renovaciones de edificios individuales, se han aplicado enfoques multidimensionales (BEEM UP FP7) que consisten en envolturas térmicas de edificios (aislamiento de piso / techo / pared, acristalamiento) y sistemas de calor convencionales (recuperación de sistema de calor, ACS) [4].

1. Introduction

DREEAM is the acronym for 'Demonstrating an integrated Renovation approach for Energy Efficiency At the Multi-building scale'. It is an R & D project funded by the Horizon 2020 program of the European Union and made up of different partners who participate in it by developing different works.

The fundamental objective of the DREEAM project is to identify combinations of optimal technologies, which on the one hand can offer a greater reduction in energy consumption for a group of buildings (up to 75%) [1] and at the same time consider the financial capacity of the owners and preferences of tenants.

Current residential retrofitting approaches are not utilising an integrated energy systems perspective nor are they appropriately considering the spectrum of possible interactions between building sizes, scales, and configurations - this is a barrier to initiating and achieving replicable NZE (Net zero energy) standard renovation projects. The approach proposed by DREEAM could contribute to an additional 30% of fossil energy (primary) demand reduction on top of the 45-55% currently saved by conventional market renovations [2].

The project focuses on social and public housing that represents 12% of the European Union's real estate stock whose owners manage many residential buildings with great potential for improvements in energy efficiency [3].

The selected pilot projects are in the United Kingdom, Italy and Germany. The three types of buildings correspond to:

- A group of townhouses with individualized electricity and natural gas supplies in some of them, located in the United Kingdom.
- Two residential buildings of various heights with individualized electricity and natural gas supplies per dwelling, located in Italy.
- Several residential buildings of different heights with individualized electricity supply per dwelling and thermal supply centralized by a district heating, located in Germany.

For single buildings, multi-dimensional approaches have been applied (BEEM UP FP7) to determine suitable pareto-optimal technology packages consisting of building thermal envelopes (floor/roof/wall insulation, glazing) and conventional heat systems (heat system recovery, DHW) [4].

Approaches that deal with the structures of "District heating", "District Cooling" or combined, have been used in the R2Cities FP7 project using the net present value (VPN) method to select from renewal

Los enfoques que tratan con las estructuras de “District heating”, “District Cooling” o combinado, se han utilizado en el proyecto R2Cities FP7 utilizando el método del valor presente neto (VPN) para seleccionar entre las opciones de renovación [5]. Como cada uno de los distritos rara vez se componen de edificios completamente homogéneos, el método se limita a seleccionar la solución óptima que minimiza el costo global general. Como ocurre en los casos de edificios únicos, se debe realizar una evaluación de los edificios presentes para excluir las opciones de renovación que no son factibles.

DREEAM ha seleccionado opciones de renovación que prioricen la optimización de la reducción de la demanda de energía y la generación de energía en todo el complejo de edificios múltiples.

Los resultados del proyecto consisten en un conjunto de “paquetes de renovación” aplicables a los diferentes edificios, regiones y políticas de Europa.

Dentro de proyecto DREEAM, SinCeO2 es responsable de la verificación de los ahorros generados con la implantación de las medidas de mejora, incluyendo la monitorización de los consumos y de las variables que afectan a la evolución y los cambios en el tiempo de éstos.

Para poder establecer objetividad en el desarrollo de los cálculos de ahorro, se han utilizado las premisas establecidas dentro del IPMVP, pero llevando a un grado más, la recopilación de datos de consumo y de las variables, ya que si bien, el método utilizado se correspondería con la Opción C, se ha llevado a cabo una monitorización en continuo de los consumos eléctricos de las viviendas y de las condiciones interiores de las mismas, mediante la medida de la temperatura y la humedad relativa [6].

El IPMVP (siglas en inglés de Protocolo Internacional de Medida y Verificación de Ahorros), establece las directrices a seguir para cuantificar los ahorros energéticos debidos a la implantación de medidas de ahorro y mejoras energéticas.

2. Identificación de la problemática

En el caso del proyecto DREEAM, las medidas de eficiencia energética conllevan una reducción en el consumo de energía y una mejora en las condiciones de uso y el confort. Las mejoras que se implantan consiguen un ahorro energético de tres formas:

- Reducen la demanda. Por ejemplo, mejorando el aislamiento de la envolvente de los edificios, se producen menos transferencias de calor, dando lugar a menor necesidad de calefacción.
- Mejoran la eficiencia. Por ejemplo, La sustitución de equipos consumidores de energía por otros más eficientes como calderas, lámparas, etc.

options [5]. Since each of the districts are rarely composed of completely homogeneous buildings, the method is limited to selecting the optimal solution that minimizes the overall overall cost. As in the case of unique buildings, an evaluation of the buildings present should be carried out to exclude renovation options that are not feasible.

DREEAM has selected renovation options that prioritize the optimization of energy demand reduction and power generation throughout the multi-building complex.

The results of the project consist of a set of “renovation packages” applicable to the different buildings, regions and policies of Europe.

Within the DREEAM project, SinCeO2 is responsible for verifying the savings generated with the implementation of improvement renovations, including the monitoring of consumption and the variables that affect the evolution and changes over time of these consumptions.

In order to establish objectivity in the development of savings calculations, the premises established within the IPMVP have been used, but to a greater degree, the collection of consumption data and variables, since although the method used is it would correspond with the Option C, a continuous monitoring of the electrical consumption of the dwellings and of the interior conditions thereof, by measuring the temperature and relative humidity has been carried out [6].

The IPMVP (abbreviations in English of the International Protocol of Measurement and Verification of Savings), establishes the directives to follow to quantify the energetic savings due to the implantation of saving actions and improvements energetics.

2. Identification of the problem

In the case of the DREEAM project, the energy efficiency actions entail a reduction in energy consumption and an improvement in the conditions of use and comfort. The improvements to implement achieve energy savings in three ways:

- They reduce the demand. For example, by improving the insulation of the building envelope, fewer heat transfers occur, resulting in less need for heating.
- They improve efficiency. For example, the replacement of energy-consuming equipment with more efficient ones such as boilers, lamps, etc.
- They provide alternative energies. For example, the installation of photovoltaic solar panels, etc.

How cross-effects occur between the different im-

- Aportan energías alternativas. Por ejemplo, la instalación de paneles solares fotovoltaicos, etc.

Al producirse efectos cruzados entre las distintas medidas no se ha considerado oportuno plantear un Plan de Medida en base a las Opciones A o B, de tal manera que se calculará el ahorro energético total producido en cada vivienda, medido a través de la contabilización de consumos de las empresas que los aportan. Así el ahorro energético se puede establecer por comparativa entre el consumo de energía de la vivienda, antes y después de las renovaciones energéticas.

Dentro de los trabajos de M&V de ahorros, lo primero que hay que establecer, es cuál es el consumo de energía antes de las renovaciones y el límite de medida. El consumo de energía en el sector residencial se debe al equipamiento típico en una vivienda, calefacción, iluminación, electrodomésticos, etc., y este consumo se produce a través del suministro eléctrico y/o de gas natural, en aquellas instalaciones en las que se dispone de este suministro.

Dentro de la opción C, se puede utilizar la facturación de la compañía distribuidora de energía como establece el IPMVP, para disponer de los datos de consumo. Así, en el caso de viviendas con suministros individualizados, el límite de medida dentro del proceso de medida y verificación según el IPMVP será el total de la vivienda.

En aquellos casos en los que se disponga de suministros centralizados (sistemas de calefacción y producción de ACS centralizados), el límite se corresponderá con el total del propio suministro del edificio entero o conjunto de edificios.

El periodo que se utiliza para establecer este consumo previo a la implantación de las medidas de mejora se llama "periodo de referencia". El periodo de referencia considerado debería corresponder con el periodo inmediatamente anterior a la aplicación de las medidas de mejora, considerando al menos un año entero ya que, por ejemplo, la energía consumida en climatización es distinta en los meses de verano que en los meses de invierno. Esto se debe a que la principal variable que afecta al consumo de energía en viviendas es la climatología y es posible realizar análisis de correlación entre los consumos energéticos y la variable que afecta al consumo expresada en un valor objetivo como puedan ser los grados día. Mediante este procedimiento se puede establecer una línea base y finalmente llegar a calcular los ahorros.

Por ejemplo, para una vivienda de Reino Unido con suministro de electricidad como única fuente energética, en la que el principal uso se debe a la calefacción en los meses de invierno, el consumo de energía se podría parametrizar por la siguiente función:

improvements applied, it has not been considered appropriate to propose a Measurement Plan based on Options A or B, in such a way that the total energy saving produced in each dwelling, measured through the energy supplier's counters, will be calculated. Thus, energy savings can be established by comparing the energy consumption of the home, before and after energy renovations.

Within the M & V savings protocol, the first thing to establish is the energy consumption before the renovations and the measurement limit. The consumption of energy in the residential sector is due to the typical equipment in a house, as heating, lighting, household appliances, etc., and this consumption is produced through electricity and / or natural gas supply, in those facilities where it is available of this supply.

Within option C, you can use the billing of the energy distribution company as established by the IPMVP, to dispose of the consumption data. Thus, in the case of homes with individualized supplies, the measurement limit within the measurement and verification process according to the IPMVP will be the total of the dwelling.

In those cases where centralized supplies are available (heating systems and centralized DHW production), the limit will correspond to the total supply of the entire building or set of buildings.

The period used to establish this consumption prior to the implementation of improvements is called the "reference period". The reference period considered should correspond to the period immediately prior to the application of the improvements, considering at least a whole year since, for example, the energy consumed in air conditioning, is different in the summer months than in the months of winter. This is because the main variable that affects energy consumption in homes is the weather and it is possible to perform correlation analysis between energy consumption and the variable that affects the consumption expressed in an objective value such as degree day. Through this procedure you can establish a baseline and finally get to calculate the savings.

For example, for a house in the United Kingdom with electricity supply as the only energy source, in which the main use is due to heating in the winter months, the energy consumption could be parameterized by the following function:

$$F(x) = Ax + B$$

Siendo:

$$F(x) = \text{Consumo de energía}$$

x = variable que afecta al consumo (en este caso concreto Grados día de Calefacción)

A = valor numérico por el que se relacionan los términos

B = valor numérico constante. Corresponde al consumo mensual constante (por ejemplo, podría ser la iluminación, los equipamientos de la cocina, etc).

Para analizar de forma rápida y sencilla la precisión de esta modelización se puede realizar un primer cálculo de regresión y ver el valor del coeficiente de determinación (R^2).

La relación entre el consumo de energía y las variables no tiene porqué ser lineal, y podría ajustarse a otro tipo de función, como exponencial, cuadrática, logarítmica, etc. En aquellas instalaciones en las que las variaciones del consumo de energía puedan depender de más de una variable, la fórmula que podría relacionarlas sería:

$$F(x, y, z, \dots, n) = Ax + By + Cz + \dots + Nn + D$$

Ahora bien, la principal problemática para determinar el ahorro radica, en que los consumos en las viviendas son relativamente pequeños, de tal manera que el uso puntual de un equipo específico por razones que dependen, en muchos casos del estado concreto y puntual de una persona, supone un consumo no "justificable" desde el punto de vista de parámetros medibles y esto supone que sea muy difícil establecer de forma objetiva las causas y por tanto de llevar a cabo ningún tipo de parametrización matemática.

Así, es fundamental conocer las condiciones de uso de los equipos y sistemas consumidores de energía durante el periodo de referencia, ya que una modificación en estos hábitos puede suponer que no se consigan los ahorros esperados. Por ejemplo, algo tan simple como que en el periodo de referencia se utilizasen tres radiadores, pero durante el periodo demostrativo de ahorro este número se incrementara, puede suponer que cuando se vaya a evaluar el ahorro, en realidad se consuma más energía. Por este motivo es necesario documentar las condiciones de referencia, antes y después de las renovaciones, registrando el número de personas que vive en cada vivienda, sus características sociales, su actividad profesional, etc. Este registro se realiza, tanto durante el periodo de referencia, como en el periodo demostrativo de ahorro, mediante entrevistas personales a los residentes.

$$F(x) = Ax + B$$

Being so:

$$F(x) = \text{Energy consumption}$$

x = variable that affects consumption (in this specific case Heating Degree Days)

A = numerical value by which the terms are related

B = constant numerical value. Corresponds to constant monthly consumption (for example, it could be lighting, kitchen equipment, etc.).

To quickly and easily analyze the precision of this modeling, you can perform a first regression calculation and see the value of the determination coefficient (R^2).

The relationship between energy consumption and variables does not have to be linear, and could be adjusted to another type of function, such as exponential, quadratic, logarithmic, etc. In those facilities where variations in energy consumption may depend on more than one variable, the formula that could relate them would be:

$$F(x, y, z, \dots, n) = Ax + By + Cz + \dots + Nn + D$$

However, the main problem to determine the savings lies in the fact that consumption in homes are relatively small, in such a way that the specific use of a specific equipment for reasons that depend, in many cases, on the concrete and punctual status of a person, supposes a consumption not "justifiable" from the point of view of measurable parameters and this supposes that it is very difficult to establish in an objective way the causes and therefore to carry out any type of mathematical parametrization.

Thus, it is essential to know the conditions of use of energy consuming equipment and systems during the reference period, since a change in these habits may mean that the expected savings are not achieved. For example, something as simple as that in the reference period three radiators were used, but during the demonstration period of savings this number will increase, it can be assumed that when you are going to evaluate the savings, more energy is consumed. For this reason, it is necessary to document the reference conditions, before and after the renovations, registering the number of people living in each dwelling, their social characteristics, their professional activity, etc. This record is made, both during the reference period, and in the demonstration period of savings, through personal interviews with residents.

However, on many occasions, the residents themselves are not aware that with small details in the use

No obstante, en muchas ocasiones, los propios residentes no son conscientes de que con pequeños detalles en el uso que hacen de los equipos en casa, varían el consumo de energía y en muchos casos no consideran significativas las modificaciones que se producen en sus hábitos de un año al siguiente.

Tras analizar de forma detallada toda esta problemática, se llegó a la conclusión de que para poder verificar de una forma precisa los ahorros reales generados, aunque se aplicase una Opción C del IPMVP, era necesario llevar a cabo la instalación de equipos que midiesen y registrasen en continuo la demanda de energía eléctrica y la temperatura y la humedad relativa en el interior de las viviendas piloto dentro del proyecto DREEAM.

Aunque algunos de estos parámetros puedan ser considerados factores “estáticos”, es necesaria su monitorización para verificar que no hay un cambio en el periodo demostrativo de ahorro.

3. Diseño del sistema de monitorización

Una vez establecidas las medidas de mejora concretas a implantar y la casuística de cada uno de los grupos de viviendas, se dimensionaron los distintos sistemas de monitorización para cada uno de los edificios y las viviendas piloto.

En concreto, se instalaron analizadores de redes eléctricas y sondas de temperatura y humedad, comunicados con un equipo Gateway Modbus / RTU a Ethernet que captura los datos obtenidos por las sondas y los medidores, y los envía a un servidor externo de forma constante.

Gracias a los equipos de monitorización instalados, se ha podido disponer de registros cuarto-horarios de potencia eléctrica demandada en cada vivienda, y la temperatura y humedad relativa del salón y de la habitación principal. Así mismo, también se instaló una sonda para la temperatura en el exterior de cada emplazamiento.

4. Resultados obtenidos

En base a los registros obtenidos, se ha podido constatar la gran variabilidad en la demanda de potencia eléctrica de unos momentos del día respecto a otros y de unos días respecto a otros. En el análisis del consumo diario, se puede ver cómo en días consecutivos, el consumo sufre variaciones de más del 300%, debido a causas tan difíciles de establecer mediante entrevistas anuales como por ejemplo que un día los residentes no estuvieron en casa porque fueron de compras y al día siguiente pusieron la lavadora.

Si bien, al representar la evolución de los consumos eléctricos diarios, en las viviendas en las que solo se dispone de suministro eléctrico, se puede apreciar

they make of the equipment at home, they vary the energy consumption, and in many cases, they do not consider that the modifications in their consumption habits of year to year are significant.

After analyzing in detail all this problem, it was concluded that in order to verify in a precise way the real savings generated, even if an Option C of the IPMVP was applied, it was necessary to carry out the installation of equipment that measured and registered in continuous the demand for electrical energy and the temperature and relative humidity inside the pilot homes within the DREEAM project.

Although some of these parameters can be considered “static” factors, monitoring is necessary to verify that there is no change in the demonstration period of savings.

3. Design of the monitoring system

Once the concrete improvement actions to be implemented and the casuistry of each of the housing groups were established, the different monitoring systems for each of the buildings and the homes from each pilot were sized.

Specifically, electrical analyzers and temperature and humidity probes were installed, communicated with a gateway by Modbus / RTU to Ethernet that captures the data obtained by the probes and meters and sends them to an external server on a constant basis.

Because of the installed monitoring equipment, it has been possible to have quarter-hour registers of electric power demanded in each dwelling, and the temperature and relative humidity of the living room and of the main bedroom. Likewise, a probe was also installed for the temperature outside each location (pilot).

4. Results obtained

Based on the records obtained, it has been possible to confirm the great variability in the demand for electric power at some moments of the day with respect to others and of some days with respect to others. In the analysis of daily consumption, you can see as consecutive days, consumption suffers variations of more than 300%, due to causes so difficult to establish through annual interviews as for example that one day residents were not at home because they were shopping and the next day they put the washing machine.

Although, when representing the evolution of daily electrical consumption in a graph, in homes where only electricity is available, it can be seen how consumption is much higher in the winter months than in the summer months.

como el consumo es mucho mayor los meses de invierno que los meses de verano.

Esta variabilidad se comprobó de forma análoga en el caso de los registros de temperatura. Para realizar el análisis, se utilizaron los grados-día, utilizando como base la temperatura media diaria registrada en el interior. Este parámetro se ha denominado "grado-día específico".

La siguiente opción de análisis consistiría en realizar una evaluación mensual, comparando el consumo con los "grados-día específicos" de ese periodo. Analizando los coeficientes de correlación obtenidos en las distintas viviendas del proyecto, se comprobó que utilizando los "grados-día específicos" de forma mensual, se mejoraba el valor en el cálculo en prácticamente todas las viviendas analizadas.

Con este sistema se parametrizaba mejor el consumo energético en calefacción, ya fuese eléctrica (Fig.5) o mediante gas natural, pero seguía sin contemplar la actividad por el resto de los sistemas de las viviendas, de tal manera que se consideró una variable adicional.

This variability was checked analogously in the case of temperature records. To carry out the analysis, the degree-days were used, using as a base the average daily temperature recorded in the interior. This parameter has been called "specific degree-day".

The next analysis option would be to carry out a monthly evaluation, comparing the consumption with the "specific degree-days" of that period. Analyzing the correlation coefficients obtained in the different dwellings of the project, it was found that using the "specific degree-days" monthly, the value in the calculation was improved in practically all the dwellings analyzed.

With this system the energy consumption in heating was better parameterized, either electric (Fig 1) or by natural gas, but the activity by the rest of the systems in the homes was not contemplated, in such a way that it was considered an additional variable.

To contribute to the calculation system the weight of the equipment that is not used to provide heating, the hours of activity in the home have been used. To do this, based on the quarter-hour registers of power

Mes	Valor Ordenadas (y) Consumo de energía mensual (kWh)	Valor de Abscisas (x) Grados día específicos
oct-16	239,333	102,51
nov-16	790,232	313,23
dic-16	1107,036	328,59
ene-17	1167,276	360,78
feb-17	962,011	286,90
mar-17	859,272	285,90
abr-17	426,833	198,37
may-17	228,17	100,53
jun-17	384,504	130,20
jul-17	405,811	138,00
ago-17	164,479	53,96
sep-17	329,827	117,35

Tabla 1.

Valores del consumo energético eléctrico mensual de una de las viviendas unifamiliares ubicadas en Reino Unido y de los registros de Grados-día de calefacción "específicos"

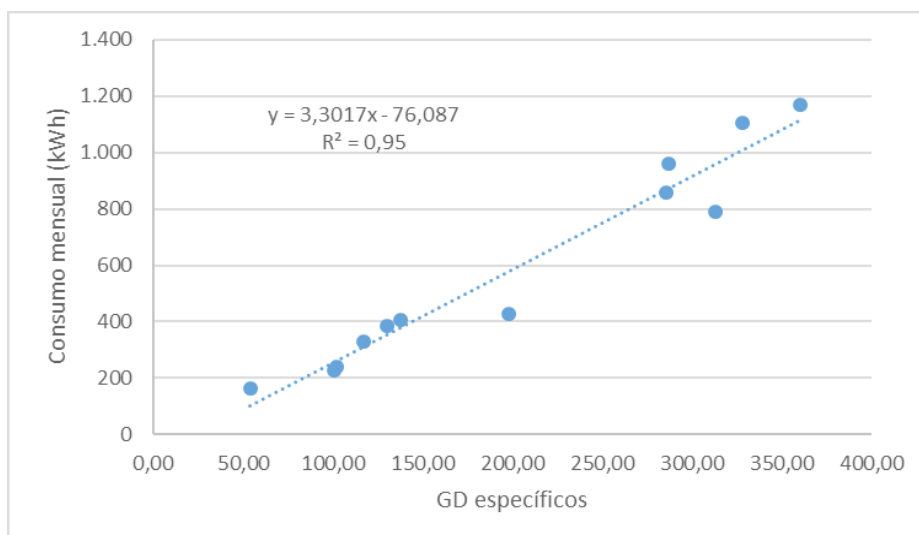


Figura 1.

Gráfica que representa los valores de la Tabla 1, consumo de energía eléctrica y grados-día de calefacción "específicos" y cálculo de regresión entre el conjunto de datos. En este ejemplo, para energía eléctrica consumida se parametriza como $F(\text{GDC 'específicos'}) = 3,3017 \text{ GDC 'específicos'} - 74,087$. Daniel Gordaliza, 2018.

Para aportar al sistema de cálculo el peso de los equipos que no se utilizan para dar la calefacción, se han usado las horas de actividad en la vivienda. Para ello, en base a los registros cuarto-horarios de potencia demanda, se establecen si es de actividad o no, comparando la potencia registrada con la potencia en los momentos medios de "no actividad", que se corresponden con los periodos nocturnos, es decir, si durante el día, se registra "la misma" potencia que, durante la noche, se considera que, en ese momento no ha actividad en la vivienda.

Así se ha dispuesto de las horas totales de actividad u horas en las que se produce consumo en las viviendas a lo largo de los meses, y se ha utilizado este valor como variable a considerar.

Por último, la tercera variable utilizada ha sido la de días de lectura dentro de cada mes, ya que, no siempre se ha podido disponer de registros constantes a lo largo del proyecto porque se han producido fallos en la comunicación por problemas de cobertura de red.

Con todo esto, se ha realizado un análisis de regresión multivariable con los parámetros mensuales. En base a las tres variables, se ha calculado la función matemática que las relaciona con el consumo de energía, según la función:

$$F(x, y, z, \dots, n) = Ax + By + Cz + \dots + Nn + D$$

O en el caso de los consumos de las viviendas:

Consumo de energía mensual (kWh) = A (Grados día específicos) + B (Horas de actividad) + C (Días de registro) + D

demand, it is established whether it is of activity or not, comparing the registered power with the power in the average moments of "non-activity", which correspond to the night periods, that is, if during day, "the same" power is recorded that during the night, it is considered that at that time, there was no activity in the house.

Thus, the total hours of activity or hours in which consumption occurs in the homes over the months have been set, and this value has been used as a variable to be considered.

Finally, the third variable used was that of reading days within each month, since it was not always possible to have constant records since during the project there were communication failures due to 3G coverage problems.

With all this, a multivariate regression analysis has been performed with the monthly parameters. Based on the three variables, the mathematical function that relates them to the energy consumption has been calculated, according to the function:

$$F(x, y, z, \dots, n) = Ax + By + Cz + \dots + Nn + D$$

Or in the case of household consumption:

Monthly energy consumption (kWh) = A (Specific Degree-days) + B (Hours of activity) + C (Registration days) + D

Mes	Valor Ordenadas (y) Consumo de energía mensual (kWh)	Valor de Variable 1 Grados día específicos	Valor de Variable 2 Horas de actividad	Valor de Variable 3 Días de registro
oct-16	239,333	102,51	124,25	15
nov-16	790,232	313,23	290,25	30
dic-16	1107,036	328,59	234,5	31
ene-17	1167,276	360,78	248	31
feb-17	962,011	286,90	203,75	28
mar-17	859,272	285,90	204,5	31
abr-17	426,833	198,37	168	30
may-17	228,17	100,53	76,5	17
jun-17	384,504	130,20	132,25	27
jul-17	405,811	138,00	140,25	28
ago-17	164,479	53,96	57,5	11
sep-17	329,827	117,35	130,25	21

Tabla 2.

Valores de consumo energético eléctrico mensual de una de las viviendas unifamiliares ubicadas en Reino Unido y de los registros de sus variables: Grados-día de calefacción "específicos", horas de actividad de la vivienda y días de disposición de datos.

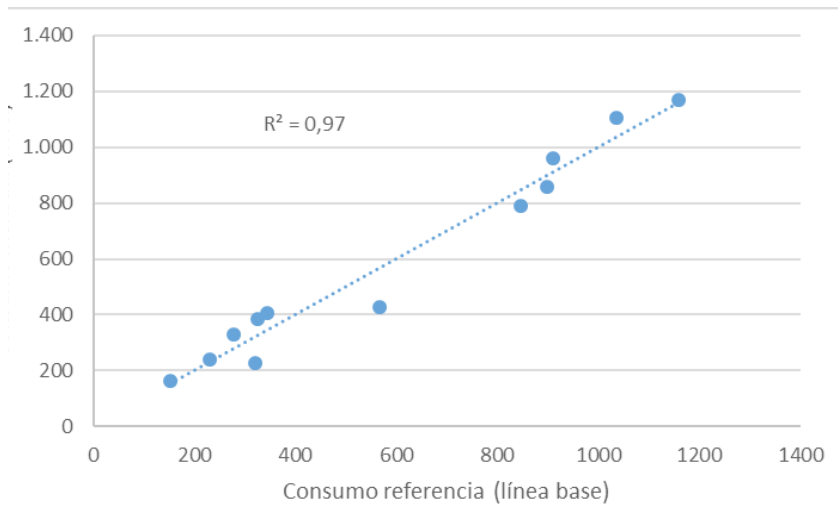


Figura 2. Gráfica que representa el consumo real frente al consumo que se obtiene según la función matemática (en base a los Grados-día específicos, horas de actividad y días de registro), que se utiliza como línea base en una de las viviendas del Reino Unido. Daniel Gordaliza, 2018.

La conclusión del estudio es que, con la incorporación del sistema de monitorización, se han mejorado los sistemas de parametrización matemática y por tanto el cálculo de la línea base para determinar los ahorros energéticos en el sector residencial (Fig. 6).

The conclusion of the study is that, with the incorporation of the monitoring system, the mathematical parameterization systems have been improved and therefore the calculation of the baseline to determine the energy savings in the residential sector (Fig.2).

A lo largo del año 2018 se han llevado a cabo las renovaciones en los distintos pilotos. La finalización de las reformas da comienzo al periodo demostrativo de ahorro.

Throughout the year 2018 the renovations have been carried out in the different pilots. The completion of the reforms starts the demonstration period of savings.

En la actualidad, SinCeO2 está realizando el cálculo de los ahorros producidos al implementar estas renovaciones en los edificios. Este cálculo será completado cuando termine el periodo demostrativo al final del Proyecto. Para ver cómo se realiza este cálculo, se muestra a continuación un ejemplo concreto de un apartamento de Treviso.

Currently, SinCeO2 is calculating the savings produced by implementing these renovations in buildings. This calculation will be completed when the demonstration period ends at the end of the Project. To see how this calculation is done, a concrete example of a Treviso apartment is shown below.

En primer lugar, y tal y como se ha indicado varias veces a lo largo de esta comunicación, se ha determinado que el método de cálculo a seguir es el específico de la Opción C del IPMVP, es decir, el cálculo del ahorro de todas las mejoras en su conjunto para cada una de las fuentes de la energía suministrada. En el caso de este apartamento se dispone de suministro de electricidad y gas. En esta comunicación se ilustra el caso específico de ahorro en electricidad.

In the first place, and as has been indicated several times throughout this communication, it has been determined that the calculation method to be followed is the Option C of the IPMVP, that is, the calculation of the savings of all the improvements for each of the sources of the energy supplied. In the case of this apartment electricity and gas supply is available. This communication illustrates the specific case of electricity savings.

En este caso, la variable dependiente es el consumo de electricidad que se está monitorizando, y las variables independientes son los Grados día de Enfriamiento, las horas de uso de los aparatos que consumen electricidad y los días de medida.

In this case, the dependent variable is the electricity consumption that is being monitored, and the independent variables are the Cooling Degree Days, the hours of use of the devices that consume electricity and the days of measurement.

Los Grados día de Enfriamiento son los "Grados día específicos" obtenidos a partir de la temperatura interior de las viviendas, en aquellas en las que se está monitorizando o a partir de una temperatura base en los casos en los que no se ha monitorizado. Estas temperaturas se comparan con la temperatura exterior media diaria.

Cooling Degree Days are the "Specific Grade Days" obtained from the interior temperature of the dwellings, in those in which it is being monitored or from a base temperature in the cases in which it has not been monitored. These temperatures are compared to the average daily outdoor temperature.

The hours of use are calculated considering a night

Consumo eléctrico medido vs Consumo eléctrico Ajustado Apartamento 16 - Torre B

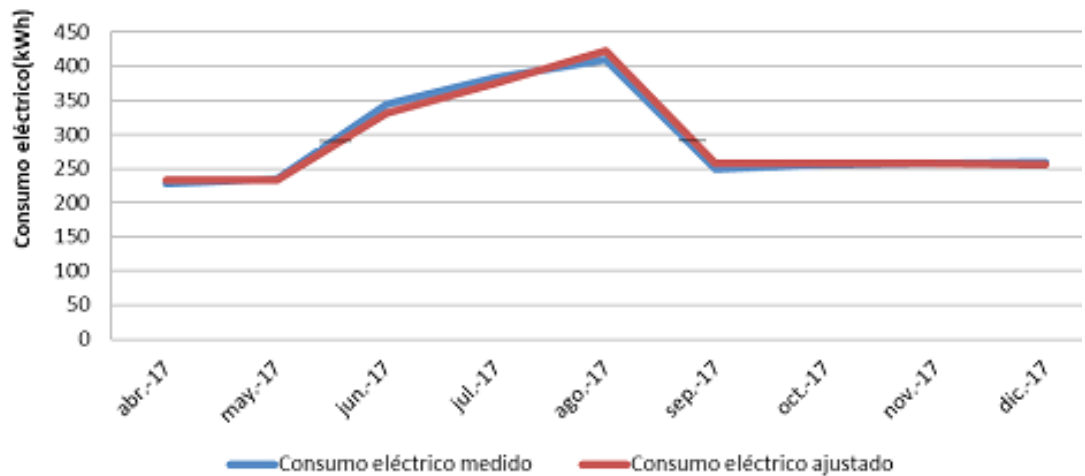


Figura 3.

Gráfica que representa el consumo real frente al consumo que se obtiene según la función matemática (grados-día de calefacción específicos, horas de actividad y días de registro) con coeficiente de determinación R^2 de 0,98 del apartamento 16 de la Torre B de Treviso. Daniel Gordaliza, 2018.

Las horas de uso se calculan teniendo en cuenta un “Consumo base” nocturno que elimina las horas en las que se consume por debajo de ese “consumo base” (noches, vacaciones, etc.).

En cuanto a los días de medida, se calculan eliminando los días en los que se han contemplado fallos de conexión o cobertura dando lugar a registros de consumo erróneos o falta de registros.

Con todo esto, se calcula la línea base de consumo de este apartamento y se obtiene una ecuación que define el perfil de consumo del apartamento con los datos del período de referencia (en este caso, 9 meses antes de las reformas). Se observa en la Fig. 7 que la ecuación obtenida tiene muy poca desviación con respecto a la curva de consumo real, únicamente un error del 0.02%.

Siguiendo el mismo ejemplo, a través de la plataforma de energía de DEXMA, se puede hacer una comparación del consumo de electricidad de este apartamento de Treviso durante 3 meses antes de las renovaciones y el consumo de electricidad en los mismos 3 meses del año después de las renovaciones (Fig. 8).

“base consumption” that eliminates the hours in which it is consumed below that “base consumption” (nights, vacations, etc.).

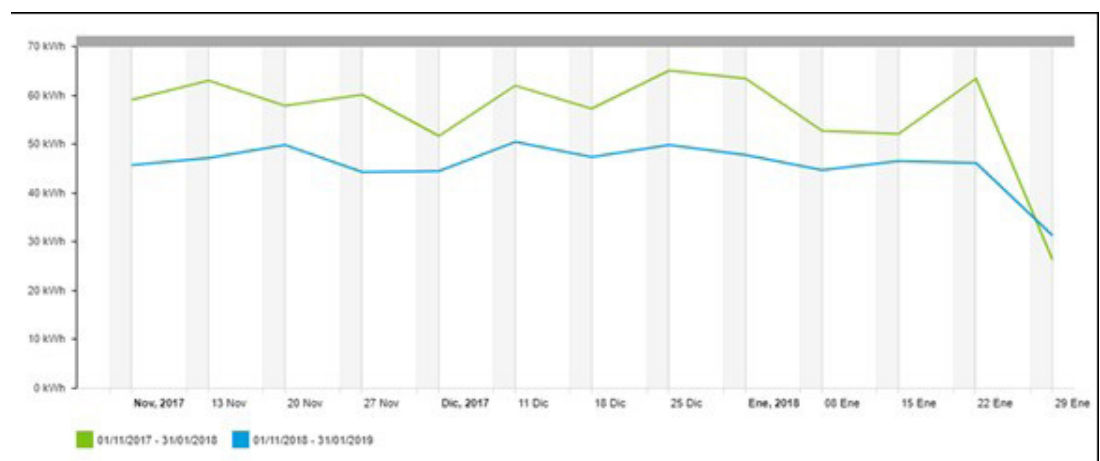
As for the days of measurement, they are calculated by eliminating the days in which connection or coverage failures have been contemplated, giving rise to erroneous consumption records or lack of records.

With all this, the base line of consumption of this apartment is calculated and an equation is obtained that defines the consumption profile of the apartment with the data of the reference period (in this case, 9 months before the reforms). It is observed in Fig 3. that the equation obtained has very little deviation with respect to the real consumption curve, only an error of 0.02%.

Following the same example, through the energy platform of DEXMA, you can make a comparison of the electricity consumption of this Treviso apartment for 3 months before renovations and electricity consumption in the same 3 months of the year after the renovations (Fig 4.).

Figura 4.

Gráfica que representa el consumo eléctrico del apartamento 16 de la Torre B de Treviso previo y posterior a las renovaciones. Plataforma de DEXMA, 2019.



A primera vista, se podría pensar que la diferencia entre ambos consumos son los ahorros obtenidos, sin embargo, estos ahorros no son representativos ya que no tienen en cuenta las variables independientes, ni los ajustes posteriores. Es decir, no tienen en cuenta los cambios en la climatología que pueden originar que durante el mismo período un año se consuma más que en otro simplemente por tener un invierno más severo, o los cambios en los hábitos de uso de la casa, si por ejemplo ese año el inquilino está menos en casa y esa es la razón por la que consume menos.

Los ajustes que se deben considerar son aquellos que implican un cambio en las condiciones iniciales de la vivienda establecidas durante el período de referencia, por ejemplo, si ha cambiado el número de inquilinos, el número de equipos que consumen electricidad, etc.

Para calcular el ahorro real se debe determinar el consumo de línea base ajustada, para ello se sustituyen los datos de las variables (Grados día específicos, Horas de uso y Días de Medida) correspondientes al período demostrativo escogido. Este consumo ajustado se compara con el consumo monitorizado durante el mismo período demostrativo. La diferencia es el ahorro energético obtenido.

En el apartamento que se está mostrando como ejemplo, en los primeros 3 meses se han obtenido unos ahorros del 35% del consumo de electricidad, y del 37% teniendo en cuenta los datos de 6 meses después de las reformas. Para una mayor precisión en el cálculo, es necesario que el período de demostración sea de un año después de las reformas, o al menos 6 meses con un período de invierno. En este caso, el período de demostración será desde el 1 de noviembre de 2018 hasta el 30 de septiembre de 2019, cuando finalice el proyecto DREEAM. Además, a este cálculo deben agregarse los ajustes no rutinarios, para lo que se volverán a realizar las entrevistas a los inquilinos y evaluar así la necesidad de realizar este tipo de ajustes.

Cabe destacar que este no sería el ahorro total del apartamento, sino solo el ahorro de consumo de electricidad. Es necesario establecer también, el ahorro energético derivado del consumo de gas. Para ello, se aplica el mismo procedimiento, es decir, se realiza el cálculo de la línea base, siendo la variable dependiente el consumo de gas (lecturas de contador), y las variables independientes son los Grados día de Calefacción, las horas de uso y los días de medida. Se emplea el mismo período de referencia y demostrativo que en el caso del cálculo de ahorro eléctrico anteriormente mostrado.

5. Conclusiones

La conclusión final del estudio realizado por SinCeO2 es que, gracias a la incorporación del sistema de mo-

At first glance, one might think that the difference between both consumptions are the savings obtained, however, these savings are not representative since they do not consider the independent variables, nor the subsequent adjustments. That is to say, they do not take into account the changes in the climatology that can originate that during the same period one year is consumed more than in another simply by having a more severe winter, or the changes in the habits of use of the house, if for example that year the tenant is less at home and that is the reason why he consumes less.

The adjustments that must be considered are those that imply a change in the initial conditions of the dwelling established during the reference period, for example, if the number of tenants has changed, the number of equipment that consumes electricity, etc.

To calculate the real saving, the adjusted baseline consumption must be determined, for this the data of the variables (Specific Degree-Days, Hours of Use and Days of Measure) corresponding to the selected demonstration period are substituted. This adjusted consumption is compared with the Consumption monitored during the same demonstration period. The difference is the energy savings obtained.

In the apartment that has been shown as an example, in the first 3 months savings of 35% of electricity consumption have been obtained, and savings of 37% considering the data of 6 months after the reforms. For greater precision in the calculation, it is necessary that the demonstration period be of one year after the reforms, or at least 6 months with a winter period. In this case, the demonstration period will be from November 1st, 2018 to September 30th, 2019, when the DREEAM project ends. In addition, non-routine adjustments must be added to this calculation, for which the interviews with the tenants will be carried out again and thus evaluate the need to make this type of adjustment.

It should be noted that this would not be the total saving of the apartment, but only the saving of electricity consumption.

It is also necessary to establish the energy savings derived from gas consumption. For this, the same procedure is applied, that is, the calculation of the baseline is performed, the dependent variable being the consumption of gas (meter readings), and the independent variables are the Heating day degrees, the hours of use and measurement days. The same reference and demonstration period is used as in the case of the calculation of electricity savings shown above.

5. Conclusions

The final conclusion of the study conducted by SinCeO2 is that, thanks to the incorporation of the mo-

nitorización, se han mejorado los sistemas de parametrización matemática y por tanto el cálculo de la línea base para determinar los ahorros energéticos en el sector residencial.

6. Actualidad

En estos momentos, en los que se da por terminado el periodo demostrativo de ahorro, se está llevando a cabo el cálculo de los ahorros, para poder verificar con un nivel mínimo de incertidumbre el ahorro real generado dentro del proyecto DREEAM.

Además, se analizarán los resultados de las entrevistas a los inquilinos para evaluar la necesidad de realizar ajustes no rutinarios e incorporarlos al cálculo de ahorros.

Aunque aún está sin desarrollar, se pretende obtener una herramienta a través de la plataforma de monitorización de consumos y variables internas de las viviendas seleccionadas, que se adapte a las necesidades de los propietarios de las viviendas monitorizadas. Para ello se está trabajando con los propietarios para definir cómo debería ser esta herramienta para el sector residencial, de forma que los propietarios conozcan cómo se está llevando a cabo el cálculo de los ahorros, y confíen en los resultados mostrados por la plataforma energética. Se llevará a cabo un desarrollo a medida que muestre los resultados del proyecto y que informe de los consumos y grado de confort alcanzado en las viviendas monitorizadas.

monitoring system, the mathematical parameterization systems have been improved and therefore the calculation of the baseline to determine the energy savings in the residential sector.

6. Present

At this time, when the demonstration period of savings is over, the calculation of savings is being carried out, in order to verify with real minimum uncertainty the actual savings generated within the DREEAM project.

In addition, the results of the tenant interviews will be analyzed to assess the need to make non-routine adjustments and incorporate them into the calculation of savings.

Although it is still undeveloped, it is intended to obtain a tool through the platform for monitoring consumption and internal variables of the selected homes, which adapts to the needs of the owners of the monitored homes.

For this, work is being done with the owners to define what this tool should be like for the residential sector, so that the owners know how the calculation of the savings is being carried out, and trust the results shown by the energy platform.

A development will be carried out as it shows the results of the project and reports the consumption and comfort level achieved in the monitored homes.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Net-Zero Energy Residential Test Facility, National Institute of Standards and Technology, US Department of Energy: Energy Efficiency & Renewable Energy, 2012. http://www.nist.gov/el/building_environment/heattrans/upload/netzerofinal.pdf
- [2] Bastiaanssen R., Zietara P., Dijol J. Energy refurbishment for sustainable social, public and cooperative housing. BEEM-UP Project. 2014.
- [3] Housing Europe, CECODHAS, 2015. <http://www.housingeurope.eu/>
- [4] Zietara, P., Bastiaanssen, R., Quistgaard, L. BEEM-UP Building Energy Efficiency for Massive market Uptake, Booklet, FP7 Project 2010-2014.
- [5] Morbiducci, R., Vite, C., Applications of a methodology for a sustainable requalification project, Architectural Research through to Practice: 48th International Conference of the Architectural Science Association 2014.
- [6] International Protocol of Measurement and Verification. Concepts and Options to Determine Energy and Water Savings. Volume 1. Efficiency Assessment Organization Prepared by Efficiency. September 2010. EVO 10000-1: 2010 (En)

Consumo energético y brecha de confort en viviendas sociales de Madrid, a través de información de contadores inteligentes y encuestas

Energy consumption and comfort gap in social housing in Madrid, through smart meters and surveys information

Fernando Martín-Consuegra¹, João Pedro Gouveia², Fernando de Frutos¹, Carmen Alonso¹, Ignacio Oteiza¹

ABSTRACT

El trabajo que se presenta explora las posibilidades para desarrollar un método de detección de situaciones de pobreza energética a partir de los datos de consumos energéticos registrados por los nuevos contadores inteligentes que están siendo instalados en sustitución de los tradicionales contadores de pasos. Para ello, resulta necesario contrastar los datos de los consumos realizados con la información obtenida a partir de encuestas realizadas a los habitantes. Se analiza la información declarada por los usuarios sobre sus hábitos energéticos, las fuentes de energía contratadas y las instalaciones térmicas de la vivienda. La comparación de la información recopilada pretende esclarecer si las necesidades energéticas de las viviendas están siendo satisfechas.

La metodología que se concreta en este trabajo es una adaptación al contexto residencial español de promoción pública, a partir del procedimiento desarrollado y testado para 400 viviendas en Portugal por los investigadores Gouveia y Seixas (2016, 2018) de la Faculdade de Ciências e Tecnologia de la Universidade Nova de Lisboa (FCT-NOVA). Se analizan en este caso 19 unidades de vivienda social en edificios multifamiliares representativos de la edificación de la periferia de Madrid producida entre los años 1940-80. A partir de los resultados se estudian las posibilidades del método para tratar de detectar la brecha entre las necesidades de energía (relacionadas con la satisfacción del confort térmico necesario para lograr unas condiciones de vida saludables) y el consumo que realmente se está dando en estas viviendas.

Key Words: eficiencia energética, confort, vivienda social, contadores inteligentes, encuestas.

(1) Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, +34 913020440, martin-consuegra@ietcc.csic.es (2) CENSE – Center for Environmental and Sustainability Research, NOVA School of Science and Technology, NOVA University Lisboa, Portugal.

1. Introducción

HABITares, es un proyecto de investigación centrado en la rehabilitación energética del parque de edificios ineficientes ubicados en áreas de bajos ingresos de la ciudad de Madrid (España). Está siendo desarrollado por el Grupo de Investigación "Sistemas Constructivos y Habitabilidad en la Edificación (SCHE)" del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción. El objetivo del proyecto es generar modelos energéticos del parque de edificios a escala urbana, calibrados mediante la monitorización del desempeño energético de una muestra de casos. Se establece un marco estadístico y físico del edificio para caracterizar y evaluar el rendimiento energético de los edificios en su estado actual basándose en la medición de datos reales (Roels, 2019). El "Big Data" recopilado por los medidores inteligentes es una nueva fuente de información del consumo de energía de los edificios. Esta metodología ha sido desarrollada y probada para una muestra de 400 viviendas en Portugal en un primer estudio en el que se establecieron grupos de consumidores basados en perfiles anuales y niveles de consumo (Gouveia y Seixas, 2016). Los resultados llevaron a una investigación adicional, los perfiles de electricidad diarios se utilizaron de una muestra más pequeña y se combinaron con datos de temperatura (Gouveia et al., 2017). En una etapa siguiente, dos grupos de consumidores distintos fueron evaluados en mayor profundidad combinando la información de Medidores inteligentes con modelos de simulación de energía de edificios (Gouveia et al., 2018). Esta investigación atrajo el interés del grupo SCHE, que actualmente se encuentra incorporando datos reales a modelos energéticos de la ciudad de Madrid. El trabajo que aquí se presenta es la exploración de las posibilidades para utilizar la metodología desarrollada en Portugal para una muestra de vivienda social en Madrid.

2. Objetivos

El objetivo de esta investigación es la exploración de las posibilidades de utilizar información sobre registros de consumo de energía de los nuevos medidores inteligentes (que las empresas de energía están instalando cada vez más en sustitución de los contadores de pasos tradicionales), como información relevante para la investigación energética de la edificación residencial. En el Proyecto HABITares está siendo monitorizada una muestra de 19 viviendas sociales en edificios multifamiliares en la periferia de Madrid, siguiendo el procedimiento descrito en (Alonso et al., 2017). Para definir las características de la monitorización, se realizó una encuesta a los usuarios de cada vivienda acerca de las fuentes de energía utilizadas, los electrodomésticos, la autopercepción del bienestar y los hábitos de los ocupantes.

El objetivo es la combinación de los datos de consumo de energía de los medidores inteligentes con la información obtenida de las encuestas para deter-

1. Introduction

HABITares, is a research project focused on the energy refurbishment of the inefficient building stock located in low income areas of the city of Madrid (Spain). It is developed by the Research Group Sistemas Constructivos y Habitabilidad en la Edificación (gISCHE) from Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción. The aim of the project is to generate energy models of the building stock at an urban scale, calibrated by monitoring the energy performance of selected cases. A statistical and building physical framework is set to characterize and assess the actual energy performance of buildings based on the measurement of real data (Roels, 2019). Big data collected by smart meters is a growing source of information of detailed energy consumption in buildings. This information has been developed and tested on a sample of 400 houses in Portugal by Gouveia et al: on a first study, cluster groups of consumers were set based on the annual profiles and levels of consumption (Gouveia and Seixas, 2016). The results led to additional research, daily electricity profiles were used from a smaller sample and combined with temperature data (Gouveia et al., 2017). On a next stage, two distinct consumer groups were assessed deeper combining Smart Meters info with buildings energy simulation models (Gouveia et al., 2018). This research attracted the interest of gISCHE which is actually incorporation real measured data to urban energy models of the city of Madrid. The work presented here is the exploration of the possibilities for using the methodology developed in Portugal to a sample of Madrid social housing.

2. Objectives

The aim of this research is to explore the possibilities of using the information about energy consumption records in the new smart meters (that are increasingly being installed by energy companies in substitution of the traditional step counters) as reliable information for energy research of the residential building stock. A sample of 19 social housing dwellings in multifamily buildings in the outskirts of Madrid is being monitored by Proyecto HABITares following the procedure described in (Alonso et al., 2017). Previously to the monitoring period, a survey has been conducted to the users of each dwelling to characterize energy sources, appliances, self-perception of comfort and habits of the occupants.

The main objective is to combine energy consumption data from smart meters with the information obtained from door to door surveys in order to determine if it's possible to detect energy poverty situations based on these two datasets. External temperature information is also included in order to incorporate climatic conditions. Information about the gap between energy needs and real consumption, related to comfort, is to be also explored.

minar si es posible detectar situaciones de pobreza energética y recopilar información sobre la brecha entre las necesidades de energía y el consumo real.

3. Metodología

En primer lugar, se resume y analiza la información de las encuestas realizadas a los ocupantes de las viviendas. En un segundo paso se recopila la información sobre el consumo de energía registrado en varias unidades de vivienda por medidores inteligentes, y se relaciona con la temperatura externa. Este proceso se realiza para los usos energéticos declarados por los ocupantes en las encuestas (electricidad y gas natural). Finalmente, la información se compara analizando la cantidad de energía utilizada por el hogar, relacionada con los hábitos declarados, y se desarrollan conclusiones sobre la detección de la pobreza energética a través de la información registrada por medidores inteligentes. La encuesta dura aproximadamente 30 minutos y las preguntas se centran en la vivienda, el hogar, la instalación y las facturas.

- Datos de vivienda. Superficie y antigüedad del edificio, propiedad y preguntas generales sobre deficiencias en construcción y tipo de ventanas.
- Datos sobre el hogar. Número de habitantes, ocupación media declarada, hábitos de ventilación y hábitos de uso del equipo, comodidad declarada del hogar, medidas de mejora y medidas de ahorro de energía que se tienen en cuenta en el hogar.
- Datos sobre la instalación de ACS, calefacción, refrigeración y cocinas definidas por la fuente de energía y el sistema de producción.
- Datos de facturas eléctricas y gas. Se les pide una factura de electricidad y gas según los diferentes casos; El número incluido en la factura nos permite acceder al consumo histórico. Son datos privados que obtenemos consultando al proveedor siempre con el consentimiento del propietario de la factura. El consumo se define en kWh con registro temporal variable.

Los datos climáticos se toman de AEMET OpenData REST API (Interfaz de programación de aplicaciones, Representación de transferencia de estado). Se descargaron los datos mensuales promedio de temperatura exterior (°C) entre los años 2015-2019 de la estación meteorológica Retiro-Madrid. (<http://www.aemet.es>)

4. Resultados

4.1. Información de encuestas

La respuesta de las encuestas relacionadas con el uso de energía y el confort para las 19 viviendas se

3. Methodology

First, the information from surveys made to the occupants of the dwellings is summarized and analyzed. In a second step, information about the energy consumption registered in several housing units by smart meters, is collected and related to external temperature. This process is done for the energy uses declared by the occupants in the surveys (electricity and natural gas). Finally, the information is compared discussing the amount of energy used by household, related to declared habits, and conclusions about energy poverty detection through the information registered by smart meters are developed. The survey lasts about 30 minutes and the issues are focused on housing, home, installation and bills.

- Data on housing. System, surface and age of the building. General questions about deficiencies in construction windows.
- Data about the home. Number of inhabitants, declared average occupation, ventilation habits and habits on the use of the equipment, declared comfort of the home, measures for improvement and on the energy saving measures taken into account in the home.
- Data on the installation of DHW, heating, cooling and kitchens defined by the energy source and the production system.
- Data of electric bills and gas. They are asked for an electricity and gas bill according to the different cases; the cups number included in the invoice allows us to access historical consumption. They are private data that we obtain by consulting the supplier always with the consent of the owner of the invoice. The consumption is defined in kWh with variable temporal record.

Climatic data are taken from AEMET OpenData REST API (Application Programming Interface, State Transfer Representation). Average monthly outdoor temperature (°C) data between the years 2015-2019 from Retiro-Madrid meteorological station were downloaded (AEMET, n.d.).

4. Results

4.1. Information from surveys

The response of the surveys related to energy use and comfort for the 19 dwellings are resumed in Table 1. The information from each dwelling is anonymized by an ID number with two digits (the first one corresponds to the building and the second to the housing unit). Information about surface (surf), year of construction (year), type of tenure (property or rental), number of occupants and the number of the floor of the building in which the dwelling is included. Also, declaration of users' comfort in winter and

ID	surface	year	tenure	occupancy	floor	Conf sum	Conf win	vent_days	vent_hours/day	heating	source	SMelec	SMgas
1.1	91	1965	prop	1	1-5	yes	no	5	0.25	individual	electricidad	x	
1.2	91	1965	prop	4	4-5	no	yes	5	0.75	individual	gas natural	x	x
1.3	93	1965	prop	2	4-5	yes	yes	5	0.17	individual	gas natural	x	x
2.1	82	1965	prop	2	unif	yes	no			individual	gas natural		
2.2	75	1965	prop	3	unif	yes	no	5	0.5	individual	gas natural		
3.1	70	1965	prop	1	1-5	yes	yes	7	0.5	individual	gas natural		x
3.2	70	1965	prop	4	3-5	yes	yes		1	individual	gas natural	x	x
3.3	70	1965	prop	1	5-5	yes	yes		15	individual	electricidad		
4.1	73	1965	prop	3	1-6	yes	yes			district	gas	x	
4.2	110	1965	prop	2	2-6	yes	yes	5	0.08	district	gasóleo	x	x
4.3	67	1965	prop	4	5-6	no	no	5	0.5	district	gasóleo	x	
4.4	117	1965	prop	4	6-6	yes	yes	5	0.25	district	gasóleo	x	
5.1	110	1982	prop	1	1-10	yes	yes	5	21	individual	gas natural		
5.2	110	1982	prop	3	4-10	yes	yes	5	0.33	individual	gas natural	x	
5.3	110	1982	prop	3	9-10	no	no	5	4	individual	gas natural	x	x
5.4	110	1982	prop	5	10-10	no	no	5	0.17	individual	gas natural		
6.1	70	1950	rent	2	1-2	yes	yes	5	2	individual	gasóleo	x	
6.2	74	1950	rent	4	1-2	no	no		0.33	individual	electricidad	x	
6.3	70	1950	rent	3	2-2	no	no		1	individual	electricidad		
6.4	83	1950	rent	1	2-2					individual	Gas natural		x

Tabla 1.

Information from surveys related to energy consumption and comfort.

resume en la Tabla 1. La información de cada vivienda se anonimiza mediante un número de identificación con dos dígitos (el primero corresponde al edificio y el segundo a la unidad de vivienda). Se incluye información sobre la superficie (surf), año de construcción (year), tipo de tenencia (tenure), número de ocupantes y el número del piso del edificio en el que se encuentra la vivienda. Además, se recopila la declaración de confort de los usuarios en invierno y verano, los hábitos de ventilación y el tipo y la fuente de energía para la calefacción. Las dos últimas columnas representan la disponibilidad de medidores inteligentes en electricidad y gas natural.

Con la información de la tabla se puede deducir que solo 6 de las 19 viviendas tienen información completa del consumo de energía de todas las fuentes que utilizan (1.1, 1.2, 1.3, 3.2, 5.3 y 6.2). Los casos 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 tienen información de medidores inteligentes, pero utilizan calefacción de distrito, por lo que no es posible cuantificar su consumo total. Los casos de estudio con ID 2.1 y 2.2 son viviendas unifamiliares (unif).

- 6 de las 19 unidades de vivienda (32%) declararon no poder mantener el confort térmico en sus hogares durante el verano
- 8 de las 19 unidades de vivienda (42%) declararon no poder mantener el confort térmico durante el invierno.

summer is collected, ventilation habits and the type and energy source for space heating. The two last columns represent the availability of smart meters in electricity and natural gas.

From the information on the table it can be seen that only 6 of the 19 dwellings have complete information of the energy consumption of every source they use (1.1, 1.2, 1.3, 3.2, 5.3 and 6.2). Cases 4.1, 4.2, 4.3 and 4.4 have information from smart meters but use district heating so it is not possible to quantify their complete consumption. Study cases with ID 2.1 and 2.2 are single family housing.

- 6 of 19 housing units (32%) declared not to be able to keep thermal comfort in their homes during summer and
- 8 of 19 housing units (42%) declared not to be able to keep thermal comfort during winter.

Table 2 resumes the information about energy use and production system for space heating, domestic hot water (DHW) and space cooling. In Madrid, lightning and other electric equipment are always included on the electricity bill and are not easy to disaggregate. Information about cooking energy needs have been included because they can be provided by different sources and means the highest energy consumption on dwellings suffering from Energy Poverty in Spain (Luxán García De Diego et al., 2017).

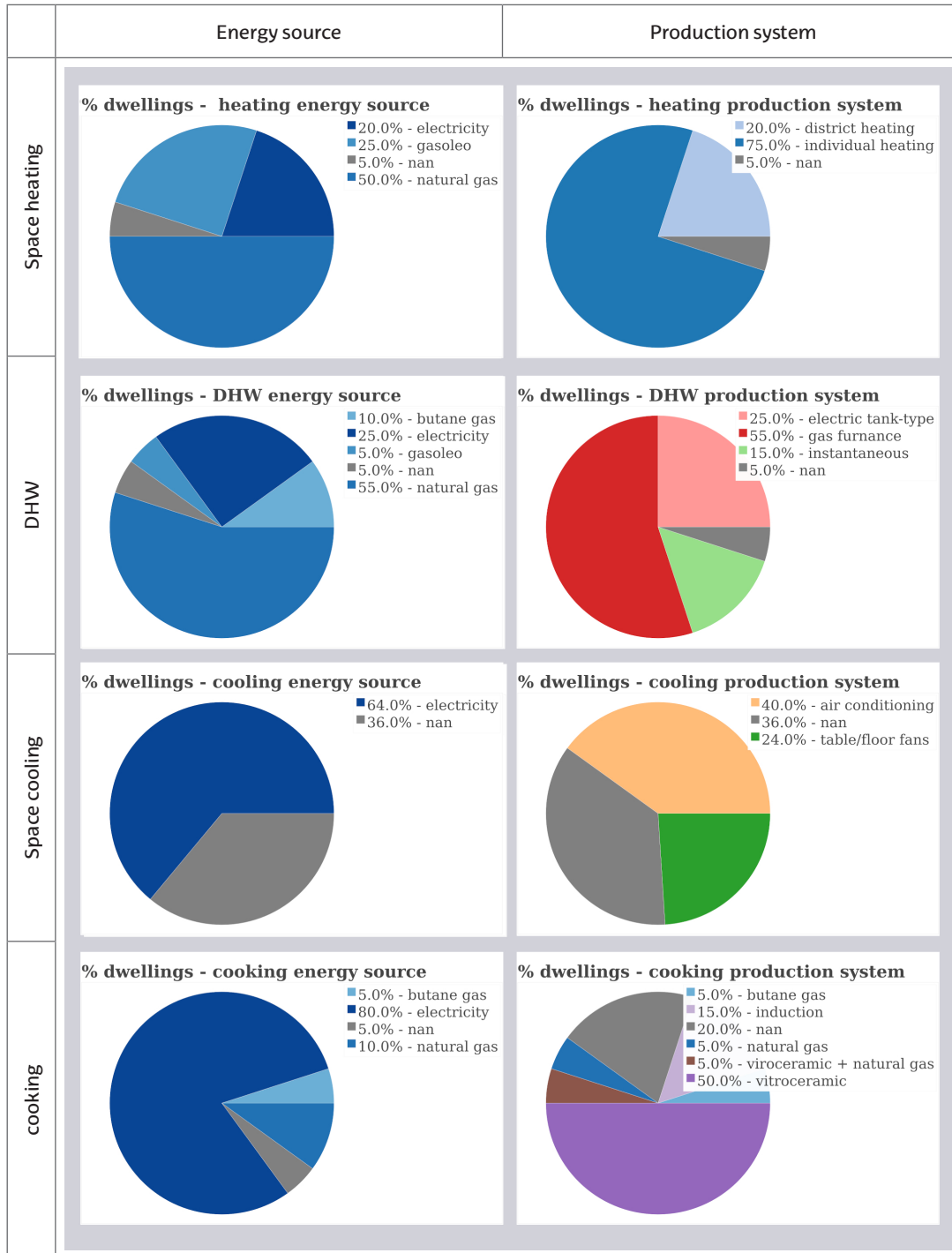


Tabla2. Energy source and production system on the dwellings of the sample.

La Tabla 2 resume la información sobre el uso de energía y el sistema de producción para calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y refrigeración. En Madrid, la iluminación y otros equipos eléctricos siempre están incluidos en la factura de la electricidad y no son fáciles de desagregar. Se ha incluido información sobre las necesidades energéticas de cocinas porque pueden ser proporcionadas por diferentes fuentes y significa el mayor consumo de energía en viviendas que sufren la pobreza energética en España (Luxán García De Diego et al., 2017).

La calefacción supone el 55% del consumo energético en las zonas continentales de España (IDAE, 2011).

Heating corresponds to the 55% of energy consumption in continental areas of Spain (IDAE, 2011). Main energy source for heating in Madrid is natural gas (it was 59% in 2001 Census), followed by gasoil and electricity. Gasoil and natural gas are used for space heating and DHW while electricity can be used for every service. Statistical data from the 2011 census has unfortunately lost precision in Spain comparing to previous ones, so information about energy sources is no longer available (Naredo, 2014). Gasoil has a high penetration in the sample, but this is not representative of the use of energy on the building stock in Madrid (INE, 2001). In this case it corresponds mostly to a building heated by a district heating sys-

La principal fuente de energía para la calefacción en Madrid es el gas natural (fue del 59% en el Censo de 2001), seguido del gasóleo y la electricidad. El gasóleo y el gas natural se utilizan para la calefacción y el ACS, mientras que la electricidad se puede utilizar para todos los servicios. Los datos estadísticos del censo de 2011 lamentablemente han perdido precisión en España en comparación con los anteriores, por lo que ya no se dispone de información sobre fuentes de energía (Naredo, 2014). El uso de gasoil tiene una alta penetración, en la muestra, pero esto no es representativo del uso de energía en el stock de edificios en Madrid (INE, 2001). En este caso, corresponde principalmente a un edificio servido por un sistema de calefacción de distrito, que es inusual en la ciudad. El butano se utiliza para ACS y para cocinas.

4.2. Información de contadores acerca del consumo

El consumo de energía en la vivienda de Madrid se basa principalmente en la electricidad y el gas natural. El gasoil y el butano no son fáciles de cuantificar precisamente porque su oferta se basa en la demanda.

4.2.1. Consumo de electricidad

El suministro eléctrico en viviendas en Madrid tiene casi un 100% de implantación (fuente). Todas las viviendas de la muestra están conectadas a la red. La información sobre el consumo de medidores inteligentes está disponible para 12 unidades de vivienda ubicadas en 6 edificios diferentes. La gráfica de los registros de consumo de electricidad en los medidores relacionados con la temperatura externa se muestra en la Figura 1. La información disponible se ha representado utilizando los identificadores para cada vivienda descritos en la tabla 1 (ID), para

tem, which is unusual in the city. Butane is used for DHW and cooking.

4.2. Energy consumption information from meters

Energy consumption on Madrid housing is mostly based on electricity and natural gas. Gasoil and Butane are not easy to quantify precisely because its supply is based on demand.

4.2.1. Electricity consumption

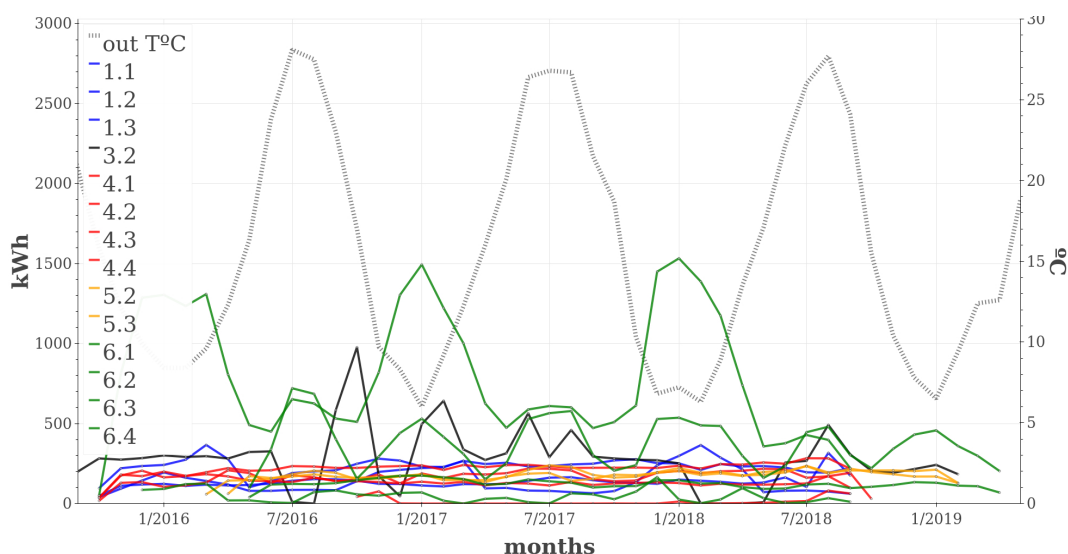
Electricity supply in Madrid housing has nearly a 100% of implantation; every dwelling on the sample is connected to the grid. Information about consumption from smart meters is available for 12 housing units placed on 6 different buildings. The plot of the registers of electricity consumption on the meters related to external temperature is shown at the graph (Figure 1). Available information has been represented using the identifiers for each dwelling described in table 1 (ID), to guarantee anonymity. Data has been provided by the electricity company for the last three years, approximately every month.

4.2.2. Natural gas consumption

10 of the 19 dwellings of the sample have an installation for natural gas supply. Information for natural gas consumption is available for 6 housing units placed on 4 different buildings. Plotting of monthly average gas consumption related to external temperature is shown at Figure 2. Information is provided by the gas company for the last two years. The raw data represent meter readings on different dates and periods for each dwelling, so daily consumption had to be calculated, extrapolated from bills.

The 2 dwellings form building 1 (dwelling 1.2 and

Figure 1. Registers for electricity consumption recorded on the meters (3 years).



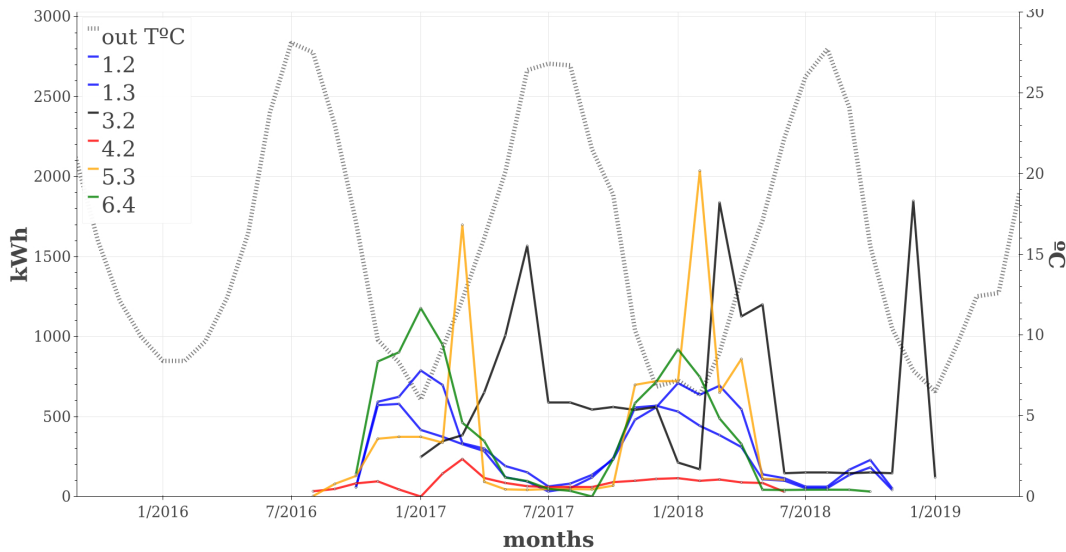


Figure 2. Registers for natural gas consumption recorded on the meters (2 years).

garantizar el anonimato. Los datos han sido proporcionados por la compañía de electricidad durante los últimos tres años, aproximadamente cada mes.

4.2.2. Consumo de gas natural

10 de las 19 viviendas de la muestra cuentan con una instalación de suministro de gas natural. La información para el consumo de gas natural está disponible para 6 unidades de vivienda ubicadas en 4 edificios diferentes. El gráfico del consumo mensual promedio de gas relacionado con la temperatura externa se muestra en la Figura 2. La compañía de gas proporciona la información correspondiente a los últimos dos años. Los datos sin procesar representan lecturas de medidores en diferentes fechas y períodos para cada vivienda, por lo que el consumo diario se tuvo que calcular extrapolando los datos de las facturas.

Las 2 viviendas del edificio 1 (vivienda 1.2 y 1.3, en azul) tienen un comportamiento similar, al igual que la vivienda 6.4. Registran un patrón de consumo que indica un cierto uso de energía para la calefacción en invierno. Las viviendas 3.2 (amarillo) y 5.3 (gris) muestran un comportamiento diferente y los altos consumos de gas aparecen desplazados en el tiempo hacia la primavera y el verano. La razón podría ser que los medidores inteligentes aún no están instalados en estas viviendas y la compañía de suministro de energía alterna en su facturación estimaciones de consumo con lecturas de contador de pasos. Esta circunstancia dificulta el uso de esta información para evaluar la distribución mensual del consumo en esos casos. La vivienda 4.2 (rojo) utiliza una cantidad muy baja de gas natural, ya que cuenta con calefacción colectiva urbana que proporciona calefacción en invierno. Estos casos registran un bajo consumo y un triple suministro de energía (electricidad, gas natural y gasóleo).

1.3, in blue) have similar behavior, so does dwelling 6.4. They register logical energy consumption that indicates a certain use of energy for space heating in winter. Dwellings 3.2 (yellow) and 5.3 (grey) show a different behavior on the use of energy and high gas consumptions appear displaced on time: during spring and summertime. The reason could be that smart meters are not yet installed on these dwellings and energy Supply Company would be alternating consumption estimates with infrequent step-counter readings on their billing. This circumstance makes it difficult to use this information for energy assessment on those cases. Dwelling 4.2 (red) is using a small amount of natural gas. Some dwellings with natural gas implantation have also district heating providing space heating in winter, as in case 4.2 (red). These cases register a low consumption and a triple energy supply (electricity, natural gas and gasoil fuel).

4.2.3. Aggregation of gas and electricity consumptions

Total consumption of energy sources in Madrid including electricity and natural gas (when installed) is found on 4 housing units from 3 buildings. Highest energy consumptions are registered in most cases during winter, when external temperature is low. Dwellings registering much lower energy consumption than the average dwelling may not be meeting a minimal comfort, except dwellings heated by gasoil (red lines). These dwellings have very low energy consumption registered in the meters, since no information is available about gasoil consumption. The total consumption on those dwellings is impossible to assess by this methodology.

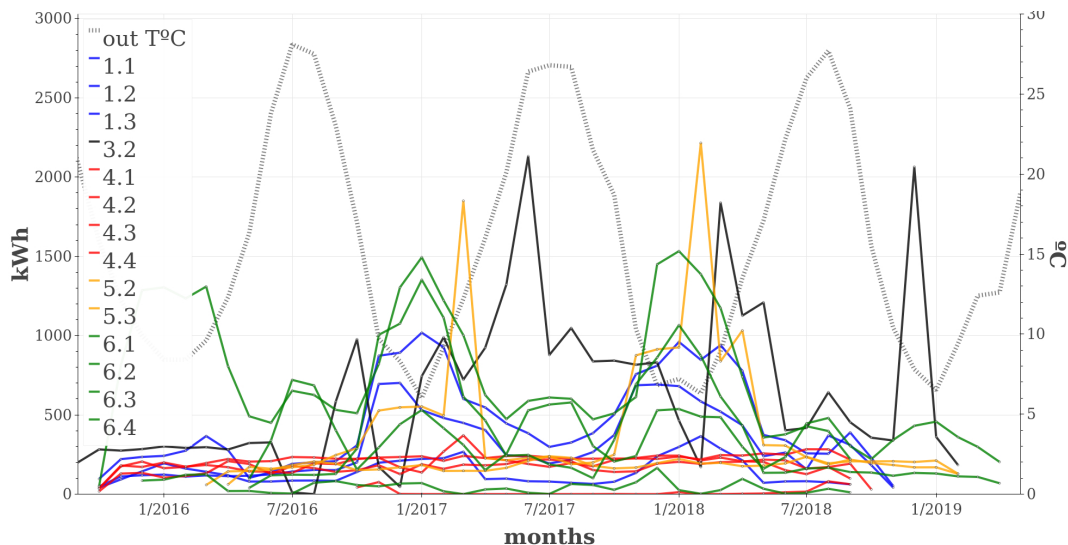


Figure 3.
Aggregation of electricity and natural gas consumption recorded by supply companies.

4.2.3. Agregación de consumos de gas y electricidad

El consumo total de fuentes de energía, incluida la electricidad y el gas natural (cuando existe) se ha podido recopilar en 4 unidades de vivienda de 3 edificios. El mayor consumo de energía se registra en la mayoría de los casos durante el invierno, cuando la temperatura externa es baja. Las viviendas que registran un consumo de energía mucho menor que la vivienda promedio pueden no estar en situación de confort, excepto las viviendas calentadas con gasoil (líneas rojas). Estas viviendas tienen un consumo de energía muy bajo registrado en los medidores, ya que no hay información disponible sobre el consumo de gasoil. El consumo total en esas viviendas es imposible de evaluar con esta metodología.

4.2.4. Consumo detallado registrado por vivienda

Se obtiene información completa para las viviendas 1.1, 1.2, 1.3, 3.2, 5.3 y 6.2. Como ejemplo, la Figura 4 representa el consumo total de energía registrado por medidores inteligentes en las viviendas 1.1, 1.2 y 6.2. Los registros de electricidad están representados por la línea roja. La línea "total" (en negro) incluye la agregación de los consumos de gas y electricidad (en kWh). En viviendas sin instalación de gas las líneas son coincidentes.

- La vivienda 1.1 usa electricidad para todo su equipamiento. El bajo consumo registrado indica que no es probable que se esté alcanzando una situación de confort durante el invierno, tal como se declara en la encuesta. Está ocupado por una sola persona que podría estar sufriendo una situación de pobreza energética.
- La vivienda 1.2, ocupada por 4 personas, cuenta con una instalación de gas natural para calefacción. La agregación de consumos (kWh) se puede

4.2.4. Detailed consumption registered per dwelling

Complete information is obtained for dwellings 1.1, 1.2, 1.3, 3.2, 5.3 and 6.2. As an example, Figure 4 represents total energy consumption registered by smart meters in dwellings 1.1, 1.2 and 6.2. Electricity registers are represented by the red line. The "total" line (in black) includes the aggregation of gas and electricity consumptions (in kWh). In dwellings without gas installation the lines are coincident.

- Dwelling 1.1 uses electricity for all its equipments. The low consumption registered indicates that comfort is not likely to be met during the winter, as it is also declared on the survey. It is occupied by one single person that could be suffering from an Energy Poverty situation.
- Dwelling 1.2, occupied by 4 persons, has a natural gas installation for heating. The aggregation of consumptions (kWh) can be done only from the past two years. The data shows peaks of gas consumption during the winter, when external temperatures are low. This dwelling could be meeting comfort during the winter, as it is declared on the survey, but declares a lack of comfort during the summer.
- Dwelling 6.2 is also occupied by 4 persons. It uses electricity for all supplies, the same as dwelling 1.1, but the register of consumptions evidences a very different situation, with high amounts of energy used for heating, and some peaks of electricity consumption during the summer. This situation is probably caused by the use of refrigeration systems when temperatures are highest. Even though, in the surveys a lack of comfort is declared during the summer and the winter on this dwelling.

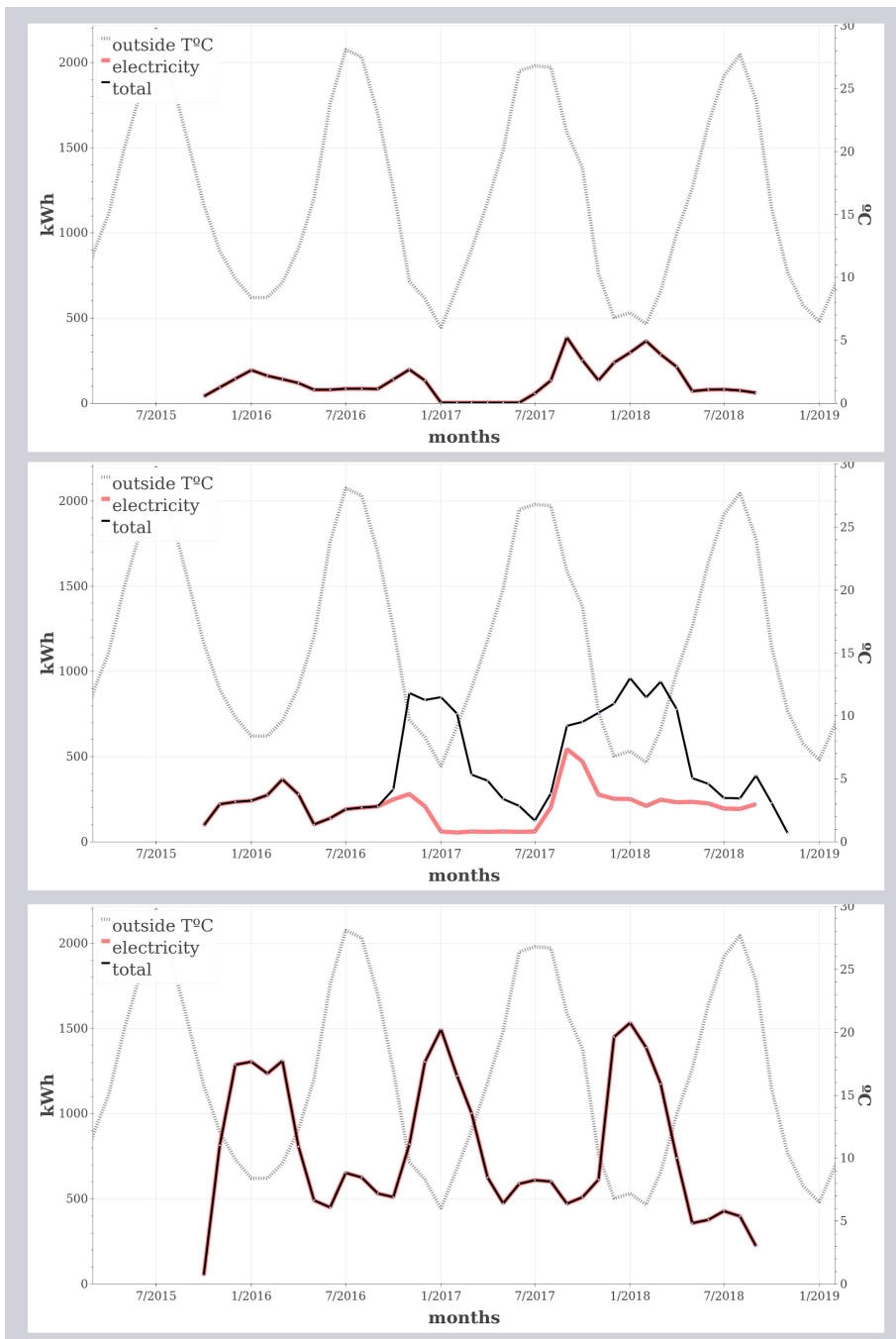


Figure 4. Examples of registered consumption for dwellings 1.1, 1.2 and 6.2.

hacer solo desde los últimos dos años. Los datos muestran los picos de consumo de gas durante el invierno, cuando las temperaturas externas son bajas. Esta vivienda podría estar en confort durante el invierno, como se declara en la encuesta, pero declara una falta de comodidad durante el verano.

- La vivienda 6.2 también está ocupada por 4 personas. Utiliza electricidad para todos sus suministros, al igual que la vivienda 1.1, pero el registro de consumos evidencia una situación muy diferente, con altas cantidades de energía utilizada para calefacción y algunos picos de consumo de electricidad durante el verano. Esta situación es probablemente causada por el uso de sistemas

4.2.5. Other energy sources consumption

Other sources of energy, besides electricity and natural gas, found in the sample are

- Gasoil for heating in the case of dwellings with district heating service (4.1, 4.2, 4.3, 4.4), and on case 6.1 that has an individual installation of gasoil for space heating and DHW.
- Butane is mostly used for instant DHW and cooking.

Both butane gas and gasoil are not registered by smart meters so they are impossible to quantify by this research.

de refrigeración cuando las temperaturas son más altas. Aun así, en las encuestas se declara una falta de confort durante el verano y el invierno en esta vivienda.

4.2.5. Consumo de otras fuentes de energía

Otras fuentes de energía, además de la electricidad y el gas natural, que se encuentran en la muestra son:

- Gasóleo para calefacción en el caso de viviendas con servicio de calefacción urbana (4.1, 4.2, 4.3, 4.4), y en el caso 6.1 que tiene una instalación individual de gasóleo para calefacción de espacios y ACS.
- El butano se usa principalmente para ACS instantáneo y para cocinar.

Tanto el gas butano como el gasoil no están registrados por medidores inteligentes, por lo que es imposible cuantificarlos con este método.

5. Discusión

La comparación de los datos de consumo con la información de las encuestas permite asociar el consumo de energía con los electrodomésticos y las fuentes de energía que se encuentran en cada vivienda.

El análisis del consumo de energía para la calefacción debe ser diferente según el sistema de calefacción y la fuente de energía (individual mediante gas natural, eléctrica o colectiva). El análisis del consumo para refrigeración se puede realizar contabilizando el consumo excesivo de electricidad durante el verano.

Las situaciones de falta de confort declaradas son subjetivas y no significan necesariamente ninguna evidencia científica. Por ejemplo, la vivienda 6.2 tiene uno de los mayores consumos de electricidad en verano e invierno. Esta vivienda tiene calefacción eléctrica, por lo que este alto consumo debe ser un indicador de confort en invierno porque hay una gran cantidad de calor entregado a la casa. Además, durante el verano hay picos en el consumo en los momentos más cálidos, lo que indica un consumo de refrigeración. Sin embargo, esta vivienda declara tener frío durante el invierno y calor en verano. Se podría estimar la demanda energética teórica de calefacción y refrigeración para el confort térmico a fin de compararla con el consumo de energía real y encontrar la brecha entre ambos (Palma et al., 2019). Además, la monitorización de la calidad ambiental en interiores podría ser útil en este tipo de casos, para aclarar la situación.

6. Conclusiones

La información proporcionada por los contadores inteligentes es relevante para la investigación, pero

5. Discussion

Comparison of registered consumption data with information from surveys permits to associate energy consumption with the appliances and energy sources, and with socioeconomic profiles of occupants and dwelling type.

Analysis of energy consumption for space heating must be different depending on the heating system and energy source (individual with natural gas, individual with electricity and collective heating). Analysis of consumption for cooling can be done by accounting the excess electricity consumption during the summer.

Situations of declared lack of comfort are subjective and do not mean necessarily any scientific evidence. For example, dwelling 6.2 has one of the highest electricity consumption in summer and winter. This dwelling has electric heating, so this high consumption should be an indicator of comfort because there is a high amount of heat delivered to the house. Also, during the summer there are peaks on consumption on the warmer moments, which is an indicator of certain consumption for space cooling. However, this dwelling declares to be in discomfort during the winter and also in summer. A building typology approach could be applied to estimate the heating and cooling theoretical energy demand for thermal comfort in order to compare with the real final energy consumption and find the gap between them (Palma et al., 2019). Also, Indoor Environmental Quality monitoring could be useful in this kind of cases, in order to clarify the situation.

6. Conclusions

The information provided by the smart meter is relevant to research, but it is too hard to get. Despite the growing rollout of smart meters across EU, nowadays, in Spain, smart meters' information is not of easy access for researchers. By one hand, they are not yet installed in every dwelling, even though the rate of installation is increasing quickly, and soon their implantation will be generalized. On the other hand, researchers need an authorization form the occupants in order to use their private data, and not every user is willing to do that. The energy companies only have the obligation to provide smart meters registered data to the trading companies

Smart meter information is more accurate than step-counter meters. The first has regular information of every month's and even below hourly information about consumption that can be used for seasonal consumption interpretation. Step counter meters are not regularly updated, they can include some consumption estimations that could be higher or lower than real consumption and are adjusted on the following months, which makes the interpretation of results confusing.

resulta difícil de obtener. A pesar del creciente despliegue de medidores inteligentes en la UE, en España la información no es de fácil acceso para los investigadores. Por un lado, aún no están instalados en todas las viviendas, a pesar de que la implantación está aumentando rápidamente, y pronto se generalizará. Por otro lado, los investigadores necesitan una autorización de los ocupantes para usar sus datos privados, y no todos los usuarios están dispuestos a hacerlo. Las empresas de energía solo tienen la obligación de proporcionar los datos registrados a las empresas comercializadoras.

La información de los contadores inteligentes es más precisa que en el contador de pasos. El primero tiene información en detalle para cada hora. Esta información se puede utilizar para la interpretación del consumo estacional. En cambio, los contadores de pasos no se actualizan periódicamente, pueden incluir algunas estimaciones de consumo que podrían ser más altas o más bajas que el consumo real y se ajustan en los meses siguientes, lo que hace que la interpretación de los resultados en esos casos sea confusa.

El consumo de energía podría no estar necesariamente relacionado con la percepción de confort de los usuarios en la muestra analizada. De todos modos, se necesitan más casos para establecer conclusiones generales, como se ha hecho en Portugal.

La estimación de la pobreza energética a través de los datos de consumo podría ser posible cuando se compara con una estimación de la demanda de calefacción y refrigeración. Las viviendas que registran un consumo de energía mucho menor que la demanda de energía (sin una fuente de energía alternativa) podrían estar en riesgo de pobreza energética. Al menos, se podría concluir que no están satisfaciendo el confort energético y existe una brecha entre las necesidades y el consumo de energía.

La monitorización del consumo de energía en las viviendas permite desagregar los diferentes usos de la energía, pero financiarla supone un alto costo. La comparación de este análisis con los resultados futuros de la campaña de monitorización anual será interesante para probar si la información contenida en los medidores inteligentes es suficiente para evaluar el consumo de energía en las viviendas.

Energy consumption could not be necessarily related to comfort perception of the users in the sample analyzed. Anyway, more cases are needed to establish general conclusions as in Portugal

Energy poverty estimation through metering consumption could be possible if compared to an estimation of space heating and cooling theoretical energy demand. Dwellings registering much lower energy consumption than energy demand in the building (without an alternative energy source) could be at risk of energy poverty. At least, it could be concluded that they are not meeting energy comfort and there is a gap between energy needs and energy consumption.

Monitoring of energy consumption in dwellings permits to disaggregate different energy uses, but it means a high cost to finance research. The comparison of this analysis with the future results of one year monitoring campaign will be interesting to try to prove if the information contained on smart meters is enough in order to assess energy consumption on residential units.

Agradecimientos / Acknowledgements

The authors thank the support of the following institutions:

- To Ministerio de Economía y Hacienda de España, for its finance support through Programa Estatal de I+D+i to the Project: BIA-2017-83231-C2-1-R. HabitaRES: Nueva herramienta integrada de evaluación para áreas urbanas vulnerables. Hacia la autosuficiencia energética y a favor de un modelo de habitabilidad biosaludable.
- João Pedro Gouveia acknowledge and thank the support given to CENSE by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) through the strategic project UID/AMB/04085/2019.
- To the program of European Cooperation in Science and Technology COST Action 16232 - ENGAGER (2017-2021): European Energy Poverty: Agenda Co-Creation and Knowledge Innovation, for its funding for a Short Term Scientific Mission in Nova Universidade de Lisboa

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] AEMET, n.d. AEMET OpenData [WWW Document]. Sist. Para Difus. Reutil. Inf. AEMET. URL <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio> (accessed 7.2.19).
- [2] Alonso, C., Oteiza, I., Martín-Consuegra, F., Frutos, B., 2017. Methodological proposal for monitoring energy refurbishment. Indoor environmental quality in two case studies of social housing in Madrid, Spain. *Energy Build.* 155, 492–502. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.042>
- [3] Gouveia, J.P., Seixas, J., 2016. Unraveling electricity consumption profiles in households through clusters: Combining smart meters and door-to-door surveys. *Energy Build.* 116, 666–676.
- [4] Gouveia, J.P., Seixas, J., Long, G., 2018. Mining households' energy data to disclose fuel poverty: Lessons for Southern Europe. *J. Clean. Prod.* 178, 534–550. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.021>
- [5] Gouveia, J.P., Seixas, J., Mestre, A., 2017. Daily electricity consumption profiles from smart meters - Proxies of behavior for space heating and cooling. *Energy* 141, 108–122. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.09.049>
- [6] IDAE, 2011. Proyecto SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final.
- [7] INE, 2001. Censo de Población y Viviendas de 2001.
- [8] Luxán García De Diego, M., Sánchez-Guevara Sánchez, C., Román López, E., Barbero Barrera, M. del M., Gómez Muñoz, G., 2017. Re-habilitación exprés para hogares vulnerables. Soluciones de bajo coste. Fundación Gas Natural Fenosa, Madrid, España.
- [9] Naredo, J.M., 2014. Discontinuidad y peculiaridad de los datos de vivienda del "censo" de 2011". El censo de 2011 en el marco de la experiencia censal en España.
- [10] Palma, P., Gouveia, J.P., Simoes, S.G., 2019. Mapping the energy performance gap of dwelling stock at high-resolution scale: Implications for thermal comfort in Portuguese households. *Energy Build.* 190, 246–261. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.03.002>
- [11] Roels, S., 2019. EBC Annex 71 Building Energy Performance Assessment Based on In-situ Measurements.

Ratio de Degradación de los Dispositivos Fotovoltaicos

Degradation Rate of Photovoltaic Devices

Denys Ioda Díaz-Garrido¹, Luis Alfonso del Portillo-Valdés¹, Gustavo Vargas-Silva²

ABSTRACT

En la actualidad existe una amplia oferta de energías renovables, puede decirse que la tecnología fotovoltaica es la que engloba a un mayor número de adeptos. Uno de los principales motivos es que su fuente de energía, la luz solar, es un recurso ampliamente distribuido. A parte los costes de fabricación y de instalación se han reducido considerablemente en los últimos años. Pero, como toda tecnología, la degradación de este tipo de dispositivos a lo largo del tiempo es una consecuencia negativa que hace que su rendimiento mengue con el paso de los años. En el caso de los módulos fotovoltaicos, ésta degradación puede verse afectada en mayor o menor medida por las condiciones ambientales que caracterizan el lugar donde se instalan. La irradiación solar, la lluvia, la polución, los efectos del viento e incluso las características físicas de los materiales, así como el criterio de instalación, son los principales parámetros que provocan una mayor o menor disminución en el rendimiento energético de este tipo de dispositivos.

La falta de un criterio común a nivel global para cuantificar esta degradación, hace que resulte difícil la comparación del comportamiento de los módulos fotovoltaicos instalados en diferentes localizaciones. A este problema hay que añadirle que, por lo general, los métodos aplicados requieren de una serie de parámetros de entrada, los cuales no siempre se encuentran disponibles.

Por ese motivo, en este trabajo se presenta un modelo de medición de la degradación de los módulos fotovoltaicos que permite obtener unos resultados precisos gracias a un número bajo de parámetros de entrada. El modelo se ha probado en las ciudades de Adelaida y Melbourne, situadas al sur de Australia, donde se ha realizado una comparativa del nivel de degradación de los dispositivos fotovoltaicos durante los años 2012 y 2015.

Key Words: Energía solar, módulos fotovoltaicos, ratio de degradación.

(1) Mechanical and Thermal Engineering Department, UPV/EHU, Bilbao, denysioda.diaz@ehu.eus. (2) Mechanical Engineering Department, UPV/EHU, San Sebastian.

1. Introducción

La energía es uno de los motores que mueven la sociedad. Durante las últimas décadas se ha hecho hincapié en desarrollar nuevas tecnologías que sean capaces de respetar más el medio ambiente utilizando el menor número de recursos posibles. A priori, la energía solar parece ser uno de los recursos más interesantes a nivel comercial gracias a que es muy abundante y de fácil acceso en gran parte del mundo. Para aprovechar este recurso energético se han desarrollado distintas tecnologías capaces de proporcionar a la sociedad la energía que necesita, la más común de todas ellas se denomina tecnología fotovoltaica, la cual aprovecha la energía solar para transformarla en energía eléctrica.

Actualmente, existen multitud de dispositivos fotovoltaicos en el mercado, todos ellos con diferentes características técnicas y dimensionales. Desde sus inicios y gracias a la investigación, los módulos fotovoltaicos han sufrido una caída en los precios y un aumento en el rendimiento energético. Sin embargo, como toda tecnología la degradación del material del que está compuesto y la disminución de su rendimiento energético se ven afectados con el paso del tiempo. Al ser una tecnología instalada a la intemperie, la ratio de degradación del rendimiento se ve muy influenciada en función de las condiciones climatológicas y ambientales que la rodea. Parámetros como el nivel de radiación solar, la temperatura ambiente, o el nivel de partículas existentes en el aire pueden provocar serias variaciones en el rendimiento de estos dispositivos (Fares et al., 2017; Sarver et al., 2013; Syafiq et al., 2018).

El objetivo de este trabajo es aplicar un método que permite cuantificar el nivel de degradación de los dispositivos fotovoltaicos utilizando un número pequeño de parámetros de entrada. Para ello se han utilizado los datos ofrecidos por diversos equipos meteorológicos y fotovoltaicos instalados en las ciudades de Melbourne y Adelaide, situadas al sur de Australia. La particularidad del procedimiento seguido en este trabajo es que es fácilmente exportable a otras localidades.

2. Metodología y parámetros de estudio

Uno de los problemas actuales a la hora de medir la ratio de degradación de la potencia en los módulos fotovoltaicos es la recopilación de los datos de entrada necesarios para poder llevar a cabo el estudio. La diversidad de procedimientos y la falta de estandarización a nivel internacional hace que sea complicado comparar los resultados de diferentes estudios. Por ello en este trabajo, se ofrece un procedimiento que permite determinar la ratio de degradación de la potencia de los módulos fotovoltaicos de manera más precisa que los que actualmente se conocen y con un número de parámetros de entrada relativamente bajo.

1. Introduction

Energy is one of the engines that move society. During the last decades, emphasis has been placed on developing new technologies that are capable of respecting the environment more, using as few resources as possible. A priori, solar energy seems to be one of the most interesting resources at commercial level because it is available around the world. In order to take advantage of this energy resource, different technologies have been developed capable of providing society the energy it needs, the most common one is called photovoltaic technology, which uses solar energy to turn into electricity power.

Currently, there are many photovoltaic devices on the market, all with different technical and dimensional characteristics. From its origins and thanks to research, photovoltaic modules have suffered a fall in prices and an increase in energy efficiency. However, like any technology, the degradation of the material of which it is composed and its energy efficiency are affected over time. Being a technology installed outdoors, the degradation of the device is greatly influenced by the weather and environmental conditions that surrounds it. Parameters such as the level of solar radiation, the ambient temperature, or the level of particles in the air can cause serious variations in the performance of these devices (Fares et al., 2017; Sarver et al., 2013; Syafiq et al., 2018).

The main of this work is to apply a method that allows to quantify the level of degradation of photovoltaic devices using a few number of input parameters. For this, the data offered by various meteorological and photovoltaic equipment installed in the cities of Melbourne and Adelaide, located in southern Australia, has been used. A particularity feature of the procedure followed in this work is that it is easily exportable to other locations.

2. Methodology and study parameters

One of the current problems when measuring the power degradation ratio in photovoltaic modules is the collection of input data necessary to carry out the study. The diversity of procedures and the lack of standardization makes it difficult to compare the results of different studies. Therefore, in this work, a procedure is offered that allows to calculate the degradation ratio of the power of the photovoltaic modules more precisely than those currently known and with a relatively few number of input parameters.

2.1. Weather-corrected performance ratio

The variation in the performance ratio measurement of photovoltaic modules depends to a large extent on the environmental conditions that exist at the installation site, specifically the temperature.

2.1. Ratio de rendimiento energético corregido con la temperatura

La variación en la medición del ratio de rendimiento de los módulos fotovoltaicos depende en gran medida de las condiciones ambientales que existen en el lugar de instalación, en concreto de la temperatura. Para evitar los errores producidos por el sesgo de los datos, Dierauf (Dierauf et al., 2013) propone crear un nuevo parámetro de medida, denominado ratio de rendimiento corregido (PR_{corr}), el cual tiene en cuenta las variaciones en las condiciones ambientales que pueden afectar al rendimiento de estos dispositivos, como son la temperatura ambiental, la velocidad del viento y el nivel de radiación solar. La expresión matemática que ofrece para determinar el ratio de degradación del rendimiento de los módulos fotovoltaicos corregidos con la temperatura ambiental es la siguiente:

$$PR_{corr} = \frac{\sum [P_{PV,i}]}{\sum_i \left[(P_{STC}) \cdot \left[\frac{G_{POA,i}}{G_{STC}} \right] [1 - \delta (T_{cell,avg} - T_{cell,i})] (t_i) \right]} \quad (1)$$

Donde:

- i = intervalo de medida temporal
- $P_{PV,i}$ = producción de energía por cada intervalo de tiempo i [Wh]
- P_{STC} = potencia máxima instalada bajo condiciones de prueba estándar (standard test conditions) (STC) [W]
- $G_{POA,i}$ = medida de la irradiación media en el plano de la superficie fotovoltaica por cada intervalo de tiempo i [Wh/m²]
- G_{STC} = irradiancia bajo condiciones de prueba estándar (STC) [W/m²]
- δ = coeficiente de temperatura de los módulos a máxima potencia [1/°C, signo negativo]
- $T_{cell,avg}$ = temperatura media de la célula fotovoltaica de por cada periodo de tiempo que engloba la medición de los datos meteorológicos analizados [°C]
- $T_{cell,i}$ = temperatura de operación media de la célula fotovoltaica por cada periodo de tiempo i [°C]
- t_i = intervalo de tiempo entre dato y dato i [h]

El valor de la irradiancia media en la superficie de la Tierra cambia en función de la localización. En este trabajo se ha tomado como referencia de G_{STC} un valor de 1000 W/m² bajo condiciones estándar por ser el más utilizado en la mayoría de artículos de investigación.

To avoid the errors produced by the bias of the data, Dierauf (Dierauf et al., 2013) proposes to create a new measurement parameter, called the corrected performance ratio (PR_{corr}), which takes into account the variations in the environmental conditions that can affect the performance of these devices, such as environmental temperature, wind speed and the level of solar radiation. The mathematical expression that it offers to determine the degradation ratio of the performance of the photovoltaic modules corrected with the ambient temperature is:

Where:

- i = each period of test measurement.
- $P_{PV,i}$ = measured energy generation over time step i [Wh].
- P_{STC} = array power rating at the maximum power under standard test conditions (STC) [W].
- $G_{POA,i}$ = measured plane of array (POA) irradiance averaged over time step i [W/m²].
- G_{STC} = irradiance at standard test conditions (STC) [W/m²].
- δ = temperature coefficient of the array maximum power [1/°C, negative in sign].
- $T_{cell,avg}$ = average cell temperature of the array over the period of weather data analyzed [°C].
- $T_{cell,i}$ = average cell operating temperature for period i [°C].
- t_i = date/time interval for each data record i [h].

The value of the average irradiance on the surface of the Earth changes according to the location. In this work, a value of 1000 W/m² has been taken as a reference for G_{STC} under standard conditions, since it is the most commonly used in research articles.

2.2. Cálculo de la irradiación sobre la superficie fotovoltaica (G_{POA})

El total de irradiación solar que incide sobre una superficie en una unidad de tiempo está compuesto por tres factores:

- La irradiancia difusa (Sky Diffuse), la cual engloba a la cantidad de irradiancia procedente del Sol que se ha dispersado a su paso por la atmósfera.
- La irradiancia de albedo (Ground Diffuse), es aquella que es reflejada por el terreno y recibida sobre una superficie.
- La irradiancia directa (DNI), definida como la potencia radiante que procede directamente del sol sobre una superficie.

El valor de estos tres factores han sido obtenidos gracias a la aportación que ofrece el gobierno de Australia por medio de los dispositivos de medición de la irradiancia solar instalados a lo largo de su geografía (Australian Government & Bureau of Meteorology, 2018).

Por otro lado, el valor de la irradiancia solar que incide sobre una superficie fotovoltaica depende en gran medida de la orientación en la que esté instalado el módulo fotovoltaico, de su inclinación con respecto a la superficie de la Tierra y de los ángulos solares azimut y cenital. Para determinar el valor que toma dicho parámetro en cualquier instante dentro del periodo de estudio, se va a seguir el procedimiento que ofrece el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL) (Sandia National Laboratories, 2018). Una vez se conocen los ángulos de orientación y de posicionamiento del módulo fotovoltaico es necesario conocer el ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie. Este parámetro se determina matemáticamente mediante la siguiente expresión:

$$AOI = \cos^{-1}(\cos(\theta_z) \cdot \cos(\theta_{T,surf}) + \sin(\theta_{T,surf}) \cdot \sin(\theta_z) \cdot \cos(\theta_A - \theta_{A,surf})) \quad (2)$$

Donde:

- $\theta_{T,surf}$ = representa el ángulo existente entre la superficie fotovoltaica y el terreno [°].
- $\theta_{A,surf}$ = ángulo acimutal de la superficie fotovoltaica [°]. El significado geométrico de este ángulo es el mismo que el del acimut solar, pero a diferencia de éste último, el ángulo acimutal de la superficie fotovoltaica permanece constante en el tiempo en los dispositivos estudiados.
- θ_A = ángulo azimutal solar [°].
- θ_z = ángulo cenital solar [°].

2.2. Calculation of the irradiation on the photovoltaic surface

The total solar radiation that falls on a surface in a unit of time is composed of three factors:

- The diffuse irradiance (Sky Diffuse), which encompasses the amount of irradiance from the Sun that has dispersed as it passes through the atmosphere.
- The irradiance of albedo (Ground Diffuse), is one that is reflected by the ground and received on a surface.
- Direct irradiance (DNI), defined as the radiation that comes directly from the sun on a surface.

The value of these three factors has been obtained thanks to the contribution offered by the government of Australia through solar irradiance measurement devices installed throughout its territory (Australian Government & Bureau of Meteorology, 2018). On the other hand, the value of the solar irradiance that affects a photovoltaic surface depends to a great extent on the orientation in which the photovoltaic module is installed, its inclination with respect to the surface of the Earth and the azimuth and solar angles. To determine the value that this parameter takes at any time during the study period, the procedure offered by the National Renewable Energy Laboratory of the United States (NREL) (Sandia National Laboratories, 2018) will be followed.

Once the orientation and positioning angles of the photovoltaic module are known, it is necessary to know the angle of incidence of the radiation on the surface. This parameter is determined mathematically by the following expression:

Where:

- $\theta_{T,surf}$ = tilt angle of the PV surface or slope surface (degrees)
- $\theta_{A,surf}$ = surface azimuth angle (degrees). The geometric meaning of this angle is the same as that of the solar azimuth, but unlike the latter, the azimuth angle of the photovoltaic surface remains constant over time in the devices studied.
- θ_A = solar azimuth angle (degrees)
- θ_z = solar zenith angle (degrees)

Tras calcular los parámetros mencionados con anterioridad, se puede calcular la irradiancia que incide sobre el plano de la superficie fotovoltaica a través de la siguiente expresión:

$$G_{POA} = DNI \cdot \cos(AOI) + \text{Ground Diffuse} + \text{Sky Diffuse} \quad (3)$$

Donde DNI (Direct Normal Irradiation) representa la irradiancia directa solar que incide sobre una superficie [W/m^2].

2.3. Ratio de degradación de los módulos fotovoltaicos

La degradación los módulos fotovoltaicos viene influenciada en parte por la contaminación que existe en el ambiente. El impacto de las partículas que son transportadas en por el aire sobre la superficie puede provocar el deterioro del material del que está compuesto y dar como resultado la degradación de los dispositivos.

La degradación los módulos fotovoltaicos suele determinarse observando la tendencia que toma la ratio rendimiento energético a lo largo periodo de estudio, normalmente superior a 3 años. Dicha tendencia se obtiene ajustando los valores calculados previamente de la ratio de rendimiento mediante una recta de ajuste, el procedimiento más común para obtener dicha recta es el conocido como relación lineal de mínimos cuadrados. El valor que se obtiene de la pendiente de la recta de ajuste representa la ratio de degradación de los dispositivos fotovoltaicos.

Con el objetivo de aumentar la precisión en el cálculo de dicha degradación y evitar los errores producidos por el sesgo de los datos, este trabajo presenta una combinación de los métodos aportados por Dierauf (Dierauf et al., 2013) y Deceglie (Deceglie et al., Jun 2016). Para ello, en vez de utilizar una relación lineal de mínimos cuadrados para realizar el ajuste de los datos, se va a proceder a usar un estimador denominado Theil-Sen, el cual ofrece un resultado matemático más robusto. Para obtener el valor de este estimador es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- Primero, se selecciona un dato del conjunto de datos representados en una gráfica de puntos que representa la ratio de rendimiento energético en función del tiempo de estudio.
- Segundo, se calcula las pendientes que forma la recta que une ese punto con el resto del conjunto de datos representados.
- Tercero, se repite el proceso para el resto de puntos obtenidos. Es necesario tener en cuenta que solo se calcula la pendiente entre dos puntos si no

Once previous parameters are obtained, G_{POA} can be calculated the as follow:

Where DNI (Direct Normal Irradiation) represents the direct solar irradiance that affects a surface [W/m^2].

2.3. Degradation ratio of photovoltaic modules

The degradation of photovoltaic modules is influenced in part by the pollution that exists in the environment. The impact of the particles that are transported by air on the surface can cause deterioration of the material of which it is composed and result in the degradation of the devices.

The degradation of the photovoltaic modules is usually determined by observing the trend taken by the energy efficiency ratio over the study period, normally exceeding 3 years. This trend is obtained by adjusting the previously calculated values of the yield ratio by means of an adjustment line, the most common procedure to obtain this line is known as linear least squares relation. The value obtained from the slope of the adjustment line represents the degradation ratio of the photovoltaic devices.

In order to increase the accuracy in the calculation of this degradation and avoid the errors produced by the bias of the data, this work presents a combination of the methods provided by Dierauf Dierauf (Dierauf et al., 2013) and Deceglie (Deceglie et al., Jun 2016). To do this, instead of using a linear least squares relationship to adjust the data, an estimator called Theil-Sen will be used, which offers a more mathematical robust result. To obtain the value of this estimator it is necessary to follow the following procedure:

- First, a data from the set of data represented in a plot of points that represents the energy performance ratio as a function of the study time is selected.
- Second, the slopes formed by the line that joins that point with the rest of the data set represented is calculated.
- Third, the process for the rest of the points obtained is repeated. It is necessary to take into account that only the slope between two points is calculated if it has not been calculated previously.
- Fourth, the average of all the calculated slopes is calculated.

se ha calculado anteriormente.

- Cuarto, se calcula la media de todas las pendientes calculadas.

La media de todas las pendientes calculadas representa la ratio de degradación de los dispositivos fotovoltaicos.

3. Datos

Los datos necesarios para la realización de este estudio, han sido recopilados gracias a la aportación de varias fuentes de información, comentadas a continuación. Todos ellos se sitúan en el tiempo en el periodo comprendido entre enero de 2012 y junio de 2015.

En lo referente a los datos meteorológicos (irradiación solar, temperatura ambiental, niveles de lluvia y de polución) se han escogido como fuente de información, la información ofrecida por el gobierno de Australia (Australian Government & Bureau of Meteorology, 2018) gracias a la red que tiene instalada a lo largo de su geografía, compuesta por diferentes estaciones de medición meteorológica. Para situar la localización de las estaciones meteorológicas se han utilizado las siguientes coordenadas:

- Melbourne: Melbourne Botanical Gardens (Latitude: -37.8309 Longitud: 144.9839 Elevación: 29 m).
- Adelaide: North Adelaide (Latitude: -34.9163 Longitud: 138.5950 Elevación: 26 m).

Para la medición del viento se ha preferido optar por la información ofrecida por los equipos meteorológicos utilizados por Weather Underground (Weather Underground, 2018) por ofrecer unos resultados más fiables que la fuente anterior.

Como muestra de los datos meteorológicos, la siguiente tabla da una muestra de los valores medio anuales de irradiación, de la velocidad del viento y de la temperatura ambiental de ambas ciudades.

The average of all the slopes calculated represents the degradation ratio of the photovoltaic devices.

3. Data

The data necessary to carry out this study have been compiled thanks to the contribution of several information sources, discussed below. All of them are encompassed in the period between January 2012 and June 2015.

Regarding meteorological data (solar irradiance, environmental temperature, rainfall levels and pollution), the information provided by the Australian government (Australian Government & Bureau of Meteorology, 2018) has been chosen as a source of information, thanks to the network that has installed throughout its territory, composed of different stations of meteorological measurement. To locate the position of the weather stations, the following coordinates have been used:

- Melbourne: Melbourne Botanical Gardens (Latitude: -37.8309 Longitude: 144.9839 Elevation: 29 m).
- Adelaide: North Adelaide (Latitude: -34.9163 Longitude: 138.5950 Elevation: 26 m).

For the measurement of the wind it has been preferred to opt for the information offered by the meteorological equipment used by Weather Underground (Weather Underground, 2018) for offering more reliable results than the previous source.

As a sample of the meteorological data, the following table gives a sample of the average annual values of solar irradiance, of the wind speed and of the environmental temperature of both cities.

Regarding the power output data of the photovoltaic devices, the data has been compiled through the information offered by the PVOutput web portal (Australian Government & Bureau of Meteorology, 2018; Australian Government. The National Pollutant Inventory, 2017; PVOutput, 2018; Weather

Melbourne					
Datos meteorológicos	2012	2013	2014	2015	Media
G_{POA} [W/m^2]	192,64	191,62	188,86	193,78	191,73
Veloc. Viento [m/s]	20,16	20,16	19,53	19,21	19,76
Temp amb [$^{\circ}C$]	14,38	14,93	15,11	16,56	15,25
Adelaide					
Datos meteorológicos	2012	2013	2014	2015	Media
G_{POA} [W/m^2]	219,73	202,31	220,87	220,75	215,91
Veloc. Viento [m/s]	17,30	17,78	16,85	17,22	17,29
Temp amb [$^{\circ}C$]	16,37	17,36	17,09	18,55	17,34

Tabla 1.
Media de datos meteorológicos de las ciudades de Melbourne y Adelaide.

Melbourne						
Disp.	Tipo de módulo	Módulos	P_{STC} [kW]	$\theta_{T,surf}$ [°]	$\theta_{A,surf}$ [°]	δ [1/°C]
1	CEEG. CSUN 195	6	1,520	25	0	-0,0047
2	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	27	4,860	25	270	-0,0048
3	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	26	4,940	1	45	-0,0045
4	CanadianSolar CS5A	12	2,220	27	0	-0,0045
5	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	26	4,940	15	45	-0,0045
6	Sunny Energy ZDNY-188C	26	4,888	20	45	-0,0037
Adelaida						
Disp.	Tipo de módulo	Módulos	P_{STC} [kW]	$\theta_{T,surf}$ [°]	$\theta_{A,surf}$ [°]	δ [1/°C]
7	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	30	5,700	30	45	-0,0045
8	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	39	7,410	30	0	-0,0045
9	CNPV 190M	33	6,270	30	0	-0,0040
10	Conergy 230M	18	4,140	30	45	-0,0047
11	TWxxx(35)D-1	26	4,940	30	45	-0,0043
12	QSE SL260CE-48M	8	2,080	22	0	-0,0047
13	ET ET-M572190	16	4,140	30	0	-0,0045
14	LINUO MCS LNPV-125*125-LN	10	1,900	22	15	-0,0047

Tabla 2.

Características técnicas de los dispositivos fotovoltaicos.

En lo referente a los datos de potencia energética de salida de los dispositivos fotovoltaicos los datos han sido recopilados a través de la información ofrecida por el portal web PVOutput (Australian Government & Bureau of Meteorology, 2018; Australian Government. The National Pollutant Inventory, 2017; PVOutput, 2018; Weather Underground, 2018).

El resto de características técnicas de los módulos fotovoltaicos se han obtenido de los diferentes fabricantes, gracias a las hojas de características técnicas que ofrecen a los consumidores.

4. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras aplicar el método explicado en los apartados anteriores. El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Obtener los parámetros de entrada.
2. Calcular el rendimiento energético corregido anual de cada módulo fotovoltaico.
3. Aplicar el estimador Theil-Sen para determinar la ratio de degradación de cada dispositivo.
4. Repetir el proceso para cada módulo fotovoltaico para obtener todas las ratios de degradación.
5. Calcular la media de degradación de cada ciudad gracias a los resultados obtenidos de todos los módulos instalados en ella.

Underground, 2018). The rest of the technical characteristics of the photovoltaic modules have been obtained from the different manufacturers, thanks to the technical data sheets they offer to consumers.

4. Results

The results obtained after applying the method explained in the previous sections are shown below. The procedure to be followed is:

1. To obtain the input parameters.
2. To calculate the annual corrected energy efficiency of each photovoltaic module.
3. To apply the Theil-Sen estimator to determine the degradation ratio of each device.
4. To repeat the process for each photovoltaic module to obtain all degradation ratios.
5. To calculate the average degradation of each city thanks to the results obtained from all the modules installed in it.

Tabla 3.
Resultados de degradación de ambas ciudades.

Melbourne		
Disp.	Tipo de módulo	Ratio de degradación
1	CEEG, CSUN 195	-0,0250
2	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	-0,0023
3	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	-0,0108
4	CanadianSolar CS5A	-0,0036
5	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	26
6	Sunny Energy ZDNY-188C	26
	Media	-0,0089
Adelaida		
Disp.	Tipo de módulo	Módulos
7	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	-0,0211
8	SUNTECH STP 190S -24/Ad+	-0,0248
9	CNPV 190M	-0,0061
10	Conergy 230M	-0,0126
11	TWxxx(35)D-1	-0,0515
12	QSE SL260CE-48M	-0,0102
13	ET ET-M572190	-0,0421
14	LINUO MCS LNPV-125*125-LN	-0,0141
	Media	-0,0228

5. Discusión de los resultados

La ratio de degradación de los dispositivos fotovoltaicos depende en gran medida de las condiciones ambientales que les rodea. Un mayor número de partículas en el ambiente, podría dar como resultado una mayor deposición de las mismas en la superficie fotovoltaica o incluso el deterioro de la misma, lo que daría como resultado una mayor degradación del dispositivo. Sin embargo, este fenómeno puede

5. Discussion

The degradation ratio of photovoltaic devices depends on the environmental conditions that surround them. The particles present in the environment can be deposited on the photovoltaic surface, reducing the performance of the device or increasing the degradation ratio. However, this phenomenon can be counteracted in some cases with the level of rain or the wind speed, in such a way that the

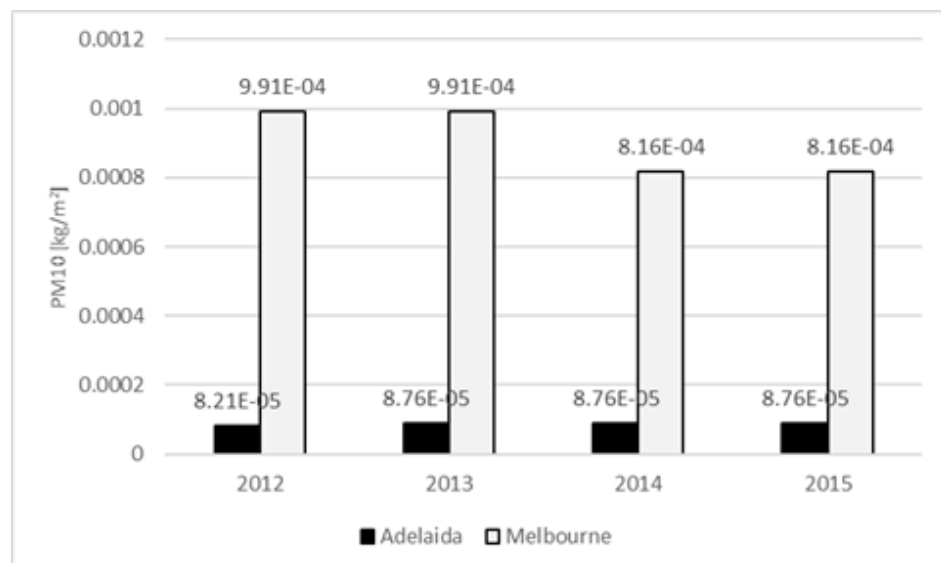


Figura 1.
Niveles de polución de partículas PM 10 en los estados de Adelaide (South Australia) y Melbourne (Victoria) desde 2012 a 2015.

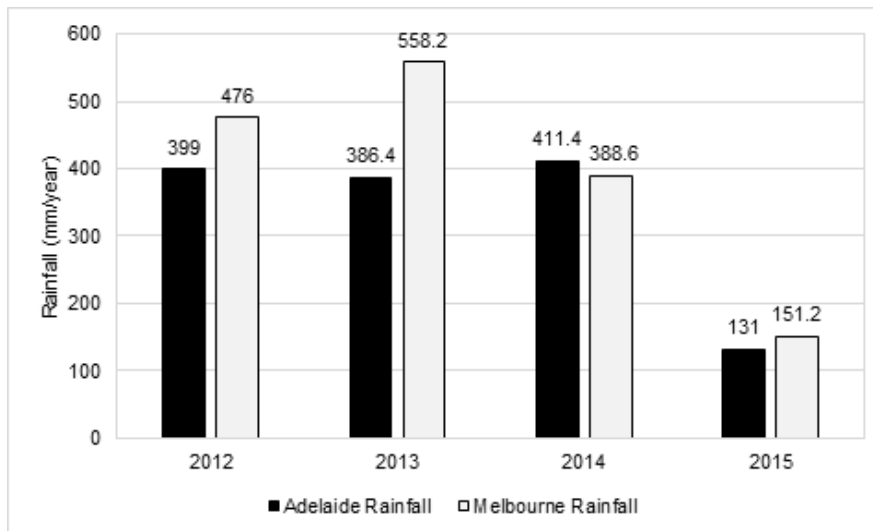


Figura 2. Niveles de lluvia en mm Adelaida (South Australia) y Melbourne (Victoria) desde 2012 a 2015.

ser contrarrestado en algunos casos con el nivel de lluvia o la velocidad del viento, de tal forma que las partículas depositadas sean desplazadas de la superficie fotovoltaica.

Las Fig.1 y Fig.2 muestran los niveles de concentración de partículas y los niveles de lluvia en las ciudades de Adelaida y Melbourne respectivamente. Pese a que en la ciudad de Melbourne posee unos niveles más bajos en la irradiancia y existe una mayor concentración de partículas en el ambiente, los efectos de la lluvia y el viento son superiores que en la ciudad de Adelaida. Esto puede provocar que las ratios de degradación de los módulos fotovoltaicos sean menores en Melbourne que en Adelaida.

6. Conclusión

Son muchos los factores que pueden afectar al rendimiento de los dispositivos fotovoltaicos. Los factores ambientales (la irradiación, la velocidad del viento, los niveles de polución, los niveles de lluvia, la temperatura ambiente), los relacionados con las características físicas de los materiales de fabricación, así como el criterio de instalación puede provocar un aumento en la degradación de los módulos fotovoltaicos.

La falta de un procedimiento común y aplicable en diferentes territorios hace que sea complicado realizar una comparación de los niveles de degradación en distintos lugares del planeta.

Por ese motivo en este trabajo se ha presentado un nuevo procedimiento capaz de ofrecer unos resultados precisos del nivel de degradación de los módulos fotovoltaicos gracias a un número bajo de parámetros de entrada. Dicho procedimiento ha sido aplicado en las ciudades de Melbourne y Adeladia, situadas al sur de Australia. En ambas ciudades se han recopilado datos meteorológicos y de la potencia de salida de diferentes dispositivos fotovoltaicos instalados en esas localidades. Tras analizar los resultados

deposited particles are displaced out from the photovoltaic surface.

Fig.1 and Fig.2 show the levels of particle concentration and rainfall levels in Adelaide and Melbourne respectively. Although Melbourne has lower levels of solar irradiance and there is a higher concentration of particles in the environment, the effects of rain and wind are higher than in the city of Adelaide. This can cause that the degradation ratios of the photovoltaic modules are lower in Melbourne than in Adelaide.

6. Conclusion

There are many factors that can affect the performance of photovoltaic devices. Environmental factors (irradiation, wind speed, pollution levels, rainfall levels, ambient temperature), those related to the physical characteristics of the manufacturing materials, as well as the installation criterion can cause an increase in the degradation of photovoltaic modules. The lack of a common procedure applicable in different territories makes it difficult to compare the levels of degradation in different parts around the world. For this reason, in this work we have presented a new procedure capable of offering accurate results of the degradation level of photovoltaic modules thanks to a few number of input parameters. This procedure has been applied in Melbourne and Adeladie, located in southern Australia. In both cities, meteorological data and the output power of different photovoltaic devices installed in these locations have been compiled. After analyzing the results it can be seen that Adelaide has higher radiation levels and lower pollution levels than Melbourne. On the other hand, this last one has higher levels of rain and wind speed than Adelaide. A priori, it may be thought that places with higher levels of solar radiation are better locations to install photovoltaic devices. However, this statement could not be fulfilled. As it can be seen in the results of this work, the effects of rain and wind speed that exist in Melbour-

puede verse que la ciudad de Adelaida cuenta con unos niveles de radiación superiores y unos niveles de polución inferiores a la ciudad de Melbourne. Por otro lado, ésta última cuenta con unos niveles de lluvia y de velocidad del viento más altos que Adelaida. A priori, se puede creer que los lugares con mayores niveles de radiación solar son las mejores localizaciones para instalar dispositivos fotovoltaicos. Sin embargo, esta afirmación puede no cumplirse. Como puede verse en los resultados de este trabajo, los efectos de la lluvia y la velocidad del viento que existen en la ciudad de Melbourne contrarrestan los bajos niveles de radiación y los altos niveles de polución. Esto hace que las ratios de degradación de los dispositivos fotovoltaicos en esta ciudad sean mejores que en los que se obtienen en Adelaida.

ne counteract the low levels of radiation and high levels of pollution. This makes the degradation ratio of photovoltaic devices in this city better than those obtained in Adelaide.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Australian Government. The National Pollutant Inventory. (2017). Environmental pollution data. Retrieved from <http://www.npi.gov.au/npidata/action/load/individual-facilitydetail/criteria/state/SA/year/2013/jurisdiction-facility/SA0469>
- [2] Australian Government, & Bureau of Meteorology. (2018). Weather Station Directory. Retrieved from <http://www.bom.gov.au/climate/data/stations/>
- [3] Deceglie, M. G., Muller, M., Defreitas, Z., & Kurtz, S. (Jun 2016). (Jun 2016). A scalable method for extracting soiling rates from PV production data. Paper presented at the 2061-2065. 10.1109/PVSC.2016.7749992 Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/7749992>
- [4] Dierauf, T., Growitz, A., Kurtz, S., Cruz, J. L. B., Riley, E., & Hansen, C. (2013). Weather-Corrected Performance Ratio. (). United States: 10.2172/1078057 Retrieved from <https://www.osti.gov/biblio/1078057>
- [5] Fares, M. A., Atik, L., Bachir, G., & Aillerie, M. (2017). Photovoltaic panels characterization and experimental testing. *Energy Procedia*, 119, 945-952. 10.1016/j.egypro.2017.07.127
- [6] PVOutput. (2018). Retrieved from <https://pvoutput.org>
- [7] Sandia National Laboratories. (2018). PV Performance Modeling Collaborative.
- [8] Sarver, T., Al-Qaraghuli, A., & Kazmerski, L. L. (2013). A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22(June 2013), 698-733. 10.1016/j.rser.2012.12.065
- [9] Syafiq, A., Pandey, A. K., Adzman, N. N., & Rahim, N. A. (2018). Advances in approaches and methods for self-cleaning of solar photovoltaic panels. *Solar Energy*, 162, 597-619. 10.1016/j.solener.2017.12.023
- [10] Weather Underground. (2018). Wind Speed. Retrieved from <https://www.wunderground.com/weather/au/melbourne>

Comparación entre consumo energético teórico y real en viviendas sociales

A comparison between predicted and measured energy use in social housing

Pablo Hernández-Cruz¹, Juan María Hidalgo-Betanzos², Carlos García-Gáfaró², Jon Fernández-Luzuriaga³, Iván Flores-Abascal²

ABSTRACT

From the analysis carried out over 300 social housing in the Autonomous Community of the Basque Country (Comunidad Autónoma del País Vasco, CAPV), a significant difference between predicted and measured energy use has been found.

Two representative multi-family buildings were selected for the study. The first consists of 126 dwellings where heating and Domestic Hot Water (DHW) is provided by centralized boilers with solar thermal panels for DHW support. The second is a building of 228 dwellings in which each residence has an individual boiler for the production of heating and DHW. Both buildings use Natural Gas as main fuel. The Energy Performance Certificates (EPC) of the buildings indicate that the Non-Renewable Primary Energy Consumption (Consumo de Energía Primaria No Renovable, CEPNR) is 99,8 kWh/m²·y for the first building (D class) and 260,9 kWh/m²·y for the second building (E class).

The actual consumption of the buildings' facilities used for the analysis were obtained from energy bills. The available energy use data was different for each case, in the first building equipped with centralized facilities the monthly energy consumptions for heating and DHW of each dwelling were available, in addition to the final energy consumption of Natural Gas at the centralized boilers. On the contrary, in the second building only the annual consumption of Natural Gas of each residence was available. Three level of analysis were conducted in order to compare the real consumption with the theoretical consumption indicated in the EPC: dwelling, housing block and building scale.

The results of the study show that the measured consumption is considerably less than the predicted value of EPC, namely 62,3% lower in the building with individual boilers and 41,5% less in the building with centralized facilities. A very significant scattering was also found in the energy consumption of dwellings despite similar construction and occupation profiles. Two main reasons are proposed for these findings. On the one hand, the inefficient operation of the building with centralized energy production system. On the other hand, the user profile of these dwellings, which is characterized by a high rate of tenant rotations, the existence of energy poverty risk and a significant disagreement in relation to the perception of comfort.

Key Words: social housing, energy use, energy performance certificate, user behavior profile, energy poverty

(1) University of the Basque Country UPV/EHU, +34 94 601 4028, pablo.hernandezd@ehu.eus (2) ENEDI Research Group, UPV/EHU (3) Department of Thermal Engineering, UPV/EHU

1. Introducción

Los edificios residenciales son responsables del 40 % del consumo energético y del 36 % de las emisiones de CO₂ en la Unión Europea [1]. En España, en el año 2017, las viviendas consumieron el 18 % del total de energía final [2]. Los estudios pormenorizados a nivel residencial son escasos, aunque en el año 2011 el estudio SPAHOUSEC [3] revelaba que el consumo energético medio por hogar en España era de 9.922 kWh/viv-a, mientras que en un estudio del Ente Vasco de la Energía (EVE) del año 2013 se obtuvo que el consumo medio de Gas Natural por vivienda era de 5.930 kWh/viv-a, siendo el sector residencial el responsable del 8 % de la demanda energética vasca [4].

La Unión Europea ha realizado importantes esfuerzos en los últimos años para organizar una estrategia energética transversal a diferentes ámbitos y que gira en torno a las energías limpias. Esta estrategia está desarrollada en el paquete de medidas "Clean Energy for All Europeans" [5], una serie de 8 actos legislativos entre los que destaca la Directiva 2018/844/UE [6], que modifica a la Directiva 2012/27/UE de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Directive, EED) [7] y a la Directiva 2010/31/UE de Eficiencia Energética en Edificios (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) [8]. Esta directiva refuerza la rehabilitación de edificios existentes obligando a los estados miembros a redactar planes a largo plazo para la renovación de los edificios del sector residencial antes de 2050. Además, se añaden aspectos referentes a las inspecciones de las instalaciones energéticas de los edificios, a la integración de las nuevas tecnologías y a la movilidad eléctrica en la edificación. La EPBD de 2010 y la EED de 2012 fueron traspuestas en España mediante el Real Decreto 235/2013 [9] de actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación (CTE DB-HE) y que implementaba la Certificación Energética de Edificios (CEE) para edificios nuevos y existentes, y el Real Decreto 238/2013 de actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificación (RITE). El objetivo de estas normativas es controlar y reducir el consumo energético en los edificios mediante un enfoque transversal y definen el Certificado de Eficiencia Energética (CEE) como la herramienta fundamental para monitorizar el avance del proceso de descarbonización del parque edificatorio.

Sin embargo, diversos estudios han encontrado diferencias importantes entre el consumo teórico de los edificios indicado en el CEE y el consumo real de los mismos, lo que se conoce como "performance gap". Existen diversas iniciativas dedicadas a estudiar y analizar este parámetro [10], [11]. Peter de Wilde ha llevado a cabo un estudio en el que plantea las principales causas y tipos de performance gap [12]. Las causas pueden darse en la fase de diseño, en la fase de construcción o en la fase de operación. En esta última, uno de los factores más importantes es

1. Introduction

Residential buildings account for the 40 % of the energy consumption and 36 % of CO₂ emissions in the European Union [1]. Dwellings were responsible for the 18 % of the final energy consumption in Spain in year 2017 [2]. Detailed researches on a residential level are scarce, although the SPAHOUSEC [3] study revealed that the mean energy consumption by house was 9.922 kWh/house-y in Spain in year 2011, whereas a study of the Ente Vasco de la Energía (EVE) conducted in 2013 showed that the mean Natural Gas consumption by dwelling was 5.930 kWh/house-y, and that the residential sector accounted for the 8 % of the Basque Country's energy demand [4].

Important efforts have been made by the European Union in the past few years in order to organize a wide energy strategy focused on clean energies. This strategy is developed within the series of measures "Clean Energy for All Europeans" [5], composed of 8 legislative acts where Directive 2018/844/UE [6], which modifies Directive 2012/27/UE (Energy Efficiency Directive, EED) [7] and Directive 2010/31/UE (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) [8], is highlighted. The latter reinforces the retrofit of existing buildings because it is obliged for member states to develop long term plans regarding the retrofit of residential buildings before 2050. Besides, several aspects related to the energy systems inspections, the integration of new technologies and electric mobility are added in this legislation. The EPBD of 2010 and the EED of 2012 were transposed in Spain by the Royal Decree 235/2013 [9], which updated the "Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de Edificación (CTE DB-HE)" and implemented the Energy Certification of Buildings (Certificación Energética de Edificios, CEE), and the Royal Decree 238/2013, which updated the "Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificación (RITE)". The aim of these legislations is to control and mitigate energy consumption in buildings using a transversal approach and establish the Energy Performance Certificate (EPC) as the main tool for monitoring the decarbonisation of the building sector.

However, several studies have found significant differences between the theoretical energy consumption of buildings, indicated in the EPC, and the real consumption. This difference is known as the "performance gap" and various projects are interested in analysing this effect [10], [11]. Peter de Wilde has conducted a study where the main root causes and types of performance gap are identified [12]. The causes may be summarized in three categories: causes related to the design stage, causes rooted in the construction stage, and causes occurring the operational stage. The user behaviour is one of the main factors within the latter cause, as shown in various studies [13], [14]. On the one side, a specific user profile can vary significantly the internal gains taken

Acrónimos		Acronyms	
ACS	Agua Caliente Sanitaria	DHW	Domestic Hot Water
BEMS	Sistema de Gestión Energética de Edificios	BEMS	Building Energy Management System
CAPV	Comunidad Autónoma del País Vasco	CAPV	Autonomous Community of the Basque Country
CEE	Certificado de Eficiencia Energética	EPC	Energy Performance Certificate
CEF	Consumo de Energía Final	CEF	Final Energy Consumption
CEPNR	Consumo de Energía Primaria No Renovable	CEPNR	Non-Renewable Primary Energy Consumption
CEU	Consumo de Energía Útil	CEU	Delivered Energy
CTE	Código Técnico de la Edificación	CTE	Spanish Building Technical Code
EPBD	Directiva de Eficiencia Energética en Edificios	EPBD	Energy Performance of Buildings Directive
EVE	Ente Vasco de la Energía	EVE	Basque Energy Agency
GN	Gas Natural	NG	Natural Gas
NH	No Habitable	NH	Non-habitable use
EECN	Edificios de Energía Casi Nula	NZEB	nearly Zero Energy Building
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas	RITE	Spanish Thermal System Regulation
ST	Solar Térmica	ST	Solar Thermal

el comportamiento de los usuarios, tal y como demuestran diversos estudios [13], [14]. Por un lado, un perfil de usuario determinado puede variar significativamente las cargas internas consideradas en la fase de diseño, y por otro, los usuarios pueden modificar las consignas de funcionamiento de las instalaciones del edificio, con el objetivo de alcanzar unas condiciones de confort específicas para sus ocupantes. En cuanto a los tipos, Pieter de Wilde identifica el performance gap que se produce entre las predicciones y las medidas reales, entre el machine learning y las mediciones y, por último, entre la etiqueta energética del CEE y el consumo real medido una vez está en uso el edificio.

En España, un estudio llevado a cabo en edificios no residenciales por María Herrando [15] ha encontrado que la desviación entre el valor del consumo energético del CEE y el consumo real es de un 45 % en edificios dedicados a la investigación y un 23 % en edificios de uso docente. En este estudio también se identifican las tres principales causas del performance gap indicadas anteriormente y se hace especial hincapié en el comportamiento del usuario, ya que es un factor que no está debidamente contemplado en la herramienta de simulación energética. En otro estudio de 193.856 viviendas en Holanda llevado a cabo por D. Majcen [16] se ha encontrado que las viviendas con baja calificación energética consumen casi la mitad de energía que la indicada por la etiqueta energética; por otro lado, edificios con alta calificación energética consumen más energía que la teórica, aunque las diferencias son menores. Este estudio es especialmente relevante para el presente trabajo, ya que la mayor parte de las viviendas analizadas eran viviendas de alquiler social, concretamente el 79 % del total. Este tipo de viviendas tienen un perfil de usuario diferente al de otros usos residenciales y en muchos casos su situación socio-económica conlleva un mayor riesgo de pobreza energética. El Observatorio para la Pobreza Energética de

into account during the design stage. On the other side, users are able to modify the heating setpoints in many ways because the perception of thermal comfort can vary from one user to another. Regarding the types of performance gap, Pieter de Wilde identifies the gap between first-principle predictions and measurements, the gap between machine learning and measurements and between predictions and display certificates in legislation.

A study conducted in Spain by María Herrando [15] has found that the difference between real consumption and theoretic consumption is a 45 % in research buildings and a 23 % in academic institutions. In this study the aforementioned root causes for the performance gap are also identified. The influence of the user behaviour gap is again underlined because it is not accurately defined in the energy simulation tool. Other research by D. Majcen [16], which involved 193.856 dwellings in Netherlands, shows that the energy consumption of low energy class buildings is almost half of the energy consumption indicated in the pertinent EPC, whereas buildings with a high energy class consume slightly more energy than the theoretic value. This study is especially relevant for the present work because a high percentage of the dwellings analysed were social housing, specifically a 79 % of the total. The user profile of this typology of dwellings is different of those in regular households and the socio-economic situation usually implies a higher risk of energy poverty. The Energy Poverty Observatory (EPOV) [17] identifies this situation when a household suffers from a lack of adequate energy services in their home [18]. It is estimated that in the European Union 50 million of households suffer of energy poverty, which is related to health, environmental and productivity problems.

Besides the community and national regulations, the Autonomous Community of the Basque Country (Comunidad Autónoma del País Vasco, CAPV)

la Unión Europea (EPOV) [17] la identifica como un conjunto de condiciones en las que un usuario no puede climatizar o disponer de los servicios energéticos básicos a un coste asumible [18]. Se estima que en la Unión Europea existen 50 millones de usuarios en situación de pobreza energética, lo que puede acarrear serios problemas de salud, medioambientales y de productividad.

Además de la normativa a nivel comunitario y nacional, el Gobierno de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) aprobó en el año 2015 el Decreto 178/2015 de Sostenibilidad Energética en la Administración General Vasca [19], mediante el que se comprometían a presentar un plan de actuación en un plazo menor a 3 años para mejorar la eficiencia energética de los edificios públicos de la comunidad. Los objetivos de este Decreto son la reducción del consumo de energía en un 12 % para el año 2020 y un 25 % para el año 2050.

De forma complementaria, dentro del Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación Euskadi 2020 (PCTI), surge la iniciativa estratégica de "Rehabilitación Inteligente de Edificios Bajo Criterios de Energía Casi Nulo" [20], dentro de la que se enmarca el "Plan Integral 2018-2020 de Rehabilitación nZEB del Parque Residencial Público de Alquiler". El plan definirá medidas para reducir el consumo energético y optimizar su rehabilitación, para reducir la demanda energética, el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂. Además, abarca otros aspectos como la mejora de la accesibilidad, salubridad y confort de estas edificaciones, así como el acompañamiento a los inquilinos y la mitigación de la pobreza energética.

El presente artículo se enmarca dentro de estas iniciativas del PCTI, concretamente en el "Plan Especial de Auditorías Energéticas de Conjunto" de los edificios de vivienda de alquiler social de la CAPV, coordinado por la Sociedad Pública de Alquiler ALOKABIDE y el Departamento de planificación territorial, urbanismo y regeneración urbana del Gobierno Vasco. Este plan consiste en la realización de auditorías energéticas en 855 viviendas ubicadas en 11 promociones tipo, de un total de 7700 viviendas en 234 promociones de vivienda de alquiler social gestionadas por Alokabide y el Gobierno Vasco.

El propósito del estudio es identificar, cuantificar y analizar las diferencias entre el consumo energético real y teórico en edificios de viviendas de alquiler social y buscar posibles causas para estas diferencias. También, se pretende comparar la idoneidad de la instalación de calefacción centralizada con la individual en este tipo de viviendas.

approved in 2015 the Decree 178/2015 of Energy Sustainability in the Basque General Administration [19], which settled the development of a plan in less than 3 years in order to improve the energy efficiency of the public buildings of the community. The objectives of this Decree are the mitigation of a 12 % of the energy consumption in public buildings and a 25 % in 2050.

Additionally, within the Science, Technology and Innovation Plan Euskadi 2020 (Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación Euskadi 2020, PCTI) the strategy "Intelligent retrofit under nearly Zero Energy Buildings criteria" (Rehabilitación Inteligente de Edificios Bajo Criterios de Energía Casi Nulo) [20] appeared and the "Plan Integral 2018-2020 de Rehabilitación nZEB del Parque Residencial Público de Alquiler" was settled. This plan will establish measures in order to reduce the energy consumption and optimize the retrofit of buildings, mitigate the energy demand, the non-renewable energy consumption and the emission of greenhouse gases. Besides, other aspects such as accessibility, health standards and comfort in buildings, as well as energy education and the mitigation of energy poverty are also included.

The present work is related to the PCTI initiatives, namely the "Audit Energy Special Plan" (Plan Especial de Auditorías Energéticas de Conjunto) of the social housing of the CAPV, coordinated by the Social Housing Public Society ALOKABIDE and the Department of territorial planning, urban planning and urban regeneration of the Basque Country Government. This plan consists in an energy audit conducted in 855 dwellings, grouped in 11 buildings, out of a total of 7700 dwellings grouped in 234 buildings managed by ALOKABIDE and the Basque Country Government.

The aim of this study is to identify, quantify and analyze the differences between predicted and measured energy use in social housing buildings and to find out the possible causes. Besides, the suitability of centralized or decentralized systems for the needs of social housing buildings is also evaluated.

2. Methodology

2.1. Description of the buildings

Two social housing developments were selected as representative of the existing social housing stock of the Basque Region (CAPV). The first one is identified as Building A and consists of 126 dwellings in 6 building blocks, with a centralized system for heating and DHW services. The second one, namely the Building B, comprises 228 dwellings in 13 building blocks, with decentralized-individual boilers. Both developments are located in Vitoria-Gasteiz, capital of the Basque region. An aerial view of both developments is shown in Fig. 1 and a summary of building general features, thermal envelope and energy systems is presented in Table 1.

Edificio A



Edificio B



2. Metodología

2.1. Descripción de los edificios

Se han seleccionado 2 edificios representativos del parque de viviendas de alquiler social de la CAPV. El primero se identifica como Edificio A y tiene 126 viviendas distribuidas en 6 portales, con una instalación de producción de calefacción y ACS centralizada. El segundo, el Edificio B, se compone de 228 viviendas en 13 portales y tiene calderas individuales. Ambos edificios están situados en Vitoria-Gasteiz, capital de la CAPV. En la Fig. 1 se muestra una imagen de las dos promociones y en la Tabla 1 se resumen las características generales, constructivas y de las instalaciones energéticas.

A nivel constructivo, la envolvente térmica del Edificio A tiene aproximadamente el doble de aislamiento térmico que el Edificio B, construido antes del CTE. Sin embargo, los huecos son similares en ambos edificios, con una transmitancia térmica bastante alta. El Edificio A tiene una compactadad menor que la del Edificio B, con lo que está más expuesto a las condiciones climáticas. La ventilación de las viviendas es de flujo simple mediante la extracción por rejillas de baños y cocinas, siendo mecánica en el Edificio A y de tiro natural en el Edificio B.

En cuanto a las instalaciones energéticas, ambos edificios utilizan Gas Natural como combustible. Por un lado, en el Edificio A hay dos calderas de tres módulos de potencia cada una y una instalación solar térmica de apoyo. Las calderas tienen una potencia nominal total de 1126,8 kW y abastecen al edificio de la energía necesaria para los servicios de calefacción y ACS mediante montantes en cada portal. En cada rellano de escalera hay un armario con contadores de energía y caudal para la calefacción y ACS de cada vivienda. Cada vivienda dispone de un crono-termostato en el salón para la regulación de la calefacción, y desde noviembre de 2018 el Edificio A dispone de un sistema de autogestión energética (AUGE) de prepagó e información energética en

Regarding the construction of the buildings, the thermal envelope of Building A is approximately twice more insulated than the envelope of Building B, which was built before the CTE requirements. Having said that, the windows in both buildings are very similar and have a moderately high thermal transmittance. Building A presents a lower compactadad than Building B, and so it is more exposed to climate conditions. Ventilation in the dwellings consists of air outlets in kitchens and toilets, which can be driven by CMV in Building A or by stack effect in Building B.

Concerning the energy systems, both buildings use natural gas as fuel. On the one hand, in Building A there are two standard boilers with three stage regulation and solar collectors as support for DHW generation. The system has a nominal power of 1126,8 kW and provides heating and DHW to the dwellings with distribution pipes for each building block. In the common areas of every floor there are individual counters of heating energy consumption and DHW volume use. All dwellings have a chronothermostat to control heating, and since November of 2018, Building A has also a Building Energy Management System (BEMS) (a system named AUGE) to pay the services and monitor real-time information of the energy use. The building roofs contain 64 solar collectors of 1,8 m² of gross area, can supply around 39,5% of the DHW annual energy needs. On the other hand, in Building B the systems are decentralized, with individual standard boilers in each dwelling, to generate heating and DHW. The system diagram of the studied buildings is presented in Fig. 2.

2.2. Description of analysed data

The analysis of data begun, first of all, checking the building project, the as-built modifications, the EPC and some additional information about users and occupancy profiles. Second of all, recent year's data from utility bills and energy consumption of both buildings was compiled. A relation of the arranged utility bills and energy consumption of each building is described in Table 2, citing their sources.

Figura 1. Imagen satélite del Edificio A y del Edificio B, Google Maps, 2019.

Tabla 1. Características generales, constructivas e instalaciones energéticas de los edificios analizados.

		Building A	Building B
General Characteristics	Location	Vitoria-Gasteiz	Vitoria-Gasteiz
	Number of dwellings	126	228
	Number of tenants	385	498
	Year of construction	2010	2004
	Net floor area [m ²]	12025,5	15543,4
	Floor number and uses	- Ground floor, commerce - Rest of floors (6,8), residential	- Ground floor, commerce - Rest of floors (5), residential
Constructive Characteristics	Façade Transmittance [W/m ² -K]	0,33 (precast concrete) 0,31 (brick wall)	0,67
	Roof Transmittance [W/m ² -K]	0,34	1,05 (with below roof NH space)
	Ground Slab Transmittance [W/m ² -K]	2,63	1,20
	Window Transmittance [W/m ² -K]	3,30	3,37
	Compactness ratio [m]	2,5	3,4
Energy Characteristics	Energy System	Centralized, Regular Boiler	Individual, Regular Boiler
	Nominal power [kW]	1126,8 (2 boilers of 563,4 kW)	21 (4788 kW in total)
	Nominal Performance [%]	90	89 (EPC data)
	Seasonal Performance [%]	77	64,5
	Main fuel	Natural Gas	Natural Gas
	Renewable energy	Solar Thermal (64 panels of 1,8 m ² , 39,5 % DHW annual contribution)	None

tiempo real. La instalación de energía solar térmica de apoyo para ACS está formada por 64 colectores solares planos de 1,8 m² de superficie útil, con una aportación anual estimada del 39,5 % del ACS. Por otro lado, el Edificio B consta de calderas estándar individuales en cada vivienda, para producción de calefacción y ACS. En la Fig. 2 se muestran los esquemas de la instalación energética de los dos edificios analizados.

2.2. Descripción de los datos analizados

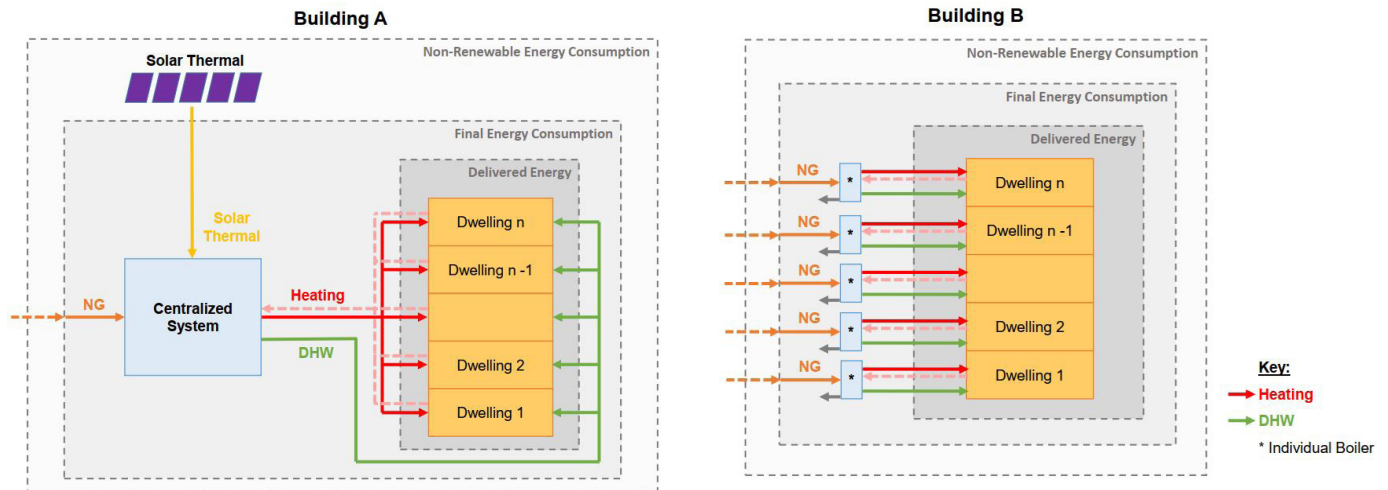
Para el análisis se revisó, en primer lugar, el proyecto de ejecución y final de obra, el CEE y otros datos relativos a los usuarios y la ocupación de los edificios. En segundo lugar, se recopilaban los datos de facturas y consumos energéticos reales de ambas promociones de los últimos años. En la Tabla 2 se muestra la relación de facturas y consumos recopilados y analizados para cada edificio, indicando su fuente.

The analysis of Building A was conducted according to two aggregation levels. At development level, 24 energy bills corresponding to the natural gas consumed within the centralized boilers during two years were studied, from 22/12/2016 to 29/01/2019. At dwellings level, a number of energy bills including the heating and DHW individual consumptions were reviewed, since 20/12/2017 as bimonthly bills and since November 2018 as detailed daily consumption, thanks to the implementation of the AUGÉ system (a BEMS), until 31/12/2018.

In the case of Building B a lower level of data was available, limited to the annual gas consumptions of each dwelling from 1/09/2017 to 31/08/2018. Additionally, and within the PCTI initiative, some works are being done in order to distinguish the seasonal influence on the gas consumption by registering every three months the gas meter records in all the dwellings with decentralized systems.

Tabla 2. Datos analizados de los consumos energéticos de los edificios.

Building	Energy Consumption	Type of data	Term	Aggregation level	Source
A	Natural Gas	Energy consumption bills	Monthly	Building	Real estate administrator
	Heating	Energy counters (Manual and BEMS)	Bimonthly	Dwelling	Real estate administrator
	DHW	Volumetric counters (Manual and BEMS)	Bimonthly	Dwelling	Real estate administrator
B	2010		Annual	Dwelling	Energy Distributor



El análisis del Edificio A se realizó en dos niveles de agregación. A escala de edificio se recopilaron 24 facturas del consumo de Gas Natural en la sala de calderas centralizada durante dos años, entre el 22/12/2016 y el 29/01/2019. A escala de viviendas, se recopilaron las lecturas de consumo de calefacción y ACS de cada vivienda, desde el 20/12/2017 mediante facturas bimensuales de la mantenedora energética, mientras que a partir de noviembre de 2018 se dispone de las lecturas diarias realizadas por el sistema AUGÉ (BEMS), hasta el 31/12/2018.

En el caso del Edificio B solamente se pudo disponer de datos del consumo de Gas Natural de cada una de las calderas individuales durante un año, entre el 01/09/2017 y el 31/08/2018. Adicionalmente, y dentro del proyecto PCTI, se está trabajando en la estacionalización verano-invierno de estos consumos mediante la lectura trimestral de los contadores entre 2019 y 2020, para futuros estudios.

2.3. Etapas de estudio

En este estudio se han seguido las siguientes etapas:

1. Tratamiento de datos: Se recopilan los datos en bruto de facturas y consumos energéticos y se realiza un tratamiento para eliminar posibles lecturas erróneas. A continuación, se reparten los consumos en meses, utilizando de forma proporcional los datos de períodos de lectura reales, con el objetivo de analizar mensualmente los consumos del edificio. El análisis mensual se ha llevado a cabo únicamente en el Edificio A, ya que en el Edificio B solamente se dispone de datos anuales.
2. Agregación de consumos: Con los datos de consumos mensuales y anuales se calculan los balances de energía para los diferentes niveles de agregación como por vivienda, agrupaciones de viviendas y por portales de edificios.

2.3. Stages of the study

The present study was developed in the following stages:

1. Data treatment: Raw data of energy bills is processed to clean any possible wrong readings. Afterwards, energy consumption is distributed among natural months, using proportionally the readings from billing dates, in order to evaluate the monthly energy consumptions by building services. The monthly evaluation was carried out only in Building A, because in Building B there was only annual consumption data.
2. Aggregation of consumptions: Based on the monthly and annual consumptions, the energy balances are calculated at different aggregation levels such as dwellings, dwelling groups and building blocks.
3. Calculation of energy indicators: the monthly and annual energy consumptions are employed to calculate the indicators of Non-renewable Primary Energy Consumption (CEPNR), Final Energy Consumption (CEF), Delivered Energy (CEU) Heating use per net floor area and DHW use per user, among others. To define these indicators the categorization of CTE is applied and they are related to the measured and calculated consumptions as explained in Fig. 2.
4. Comparison between predicted and measured consumption: The actual consumptions are compared with the EPC values in each building and among both of them as well.
5. Energy poverty risk evaluation: The dwelling energy consumptions in each building are compared with the energy poverty indicators defined by the EPOV.

Figura 2.

Consumos energéticos del Edificio A y del Edificio B, Pablo Hernández-Cruz, 2019.

3. Cálculo de indicadores energéticos: Los resultados mensuales y anuales de los consumos energéticos se utilizan para calcular los indicadores energéticos de consumo de energía primaria no renovable (CEPNR), consumo de energía final (CEF), consumo de energía útil (CEU), el consumo de calefacción por unidad de superficie y el consumo de ACS por usuario, entre otros. Para estos indicadores se ha seguido la categorización utilizada en el CTE y se relaciona con los consumos analizados tal y como se indica en la Fig. 2.
4. Comparación consumo teórico y real: Se comparan los consumos energéticos reales de cada promoción con los valores del CEE y también entre ambas promociones
5. Evaluación de riesgo de pobreza energética: Los consumos energéticos de cada edificio se comparan con los indicadores de pobreza energética propuestos por el EPOV.

2.4. Hipótesis de trabajo

En este estudio se han considerado las siguientes hipótesis de trabajo:

- No se ha tenido en cuenta el consumo de electricidad en viviendas o zonas comunes.
- En las viviendas del Edificio B se ha realizado un reparto de los consumos de gas en calderas mixtas individuales según un porcentaje fijo para ACS y calefacción. Se ha aplicado el 46,2 % para ACS, como el valor promedio anual obtenido en un estudio complementario de los consumos reales de ACS y calefacción en otras 4 promociones con 442 viviendas de alquiler social, en la misma zona climática.
- La contribución de energía solar térmica al ACS del Edificio A es la indicada en el proyecto y CEE.
- En las viviendas analizadas no se utilizan cocinas de gas o dispositivos portátiles de calefacción.
- La temperatura de impulsión de ACS en la instalación energética de ambos edificios es de 60 °C.

3. Resultados y discusión

3.1. Resultados Edificio A

La comparación entre consumos energéticos reales y teóricos indica que el CEPNR del Edificio A es de 153,7 kWh/m²-a frente a 99,8 kWh/m²-a del CEE, lo que supone un 54 % más de consumo a nivel de edificio. Cabe destacar que pese a que el CEPNR real es mayor que el CEPNR teórico indicado en el CEE de este edificio, el consumo real contabilizado en las viviendas es notablemente inferior al del CEE. El consumo de energía útil de calefacción y ACS en

2.4. Hypotheses of the work

This work has done considering the following hypotheses:

- The electricity consumption in dwellings or common areas has not been taken into account.
- In Building B dwellings, the gas consumptions in mixed boilers are allocated to heating and DHW services according to a certain percentage. It is considered that 46,2% corresponds to DHW, as the average value obtained from the heating and DHW real consumptions is obtained in a complementary study conducted in other 4 developments of social housing with 442 dwellings, in the same climate.
- The solar thermal contribution to DHW in Building A is the indicated in the project and EPC.
- Portable devices for heating or cooking are not used in the studied dwellings.
- The supply temperature of DHW in both buildings is 60 °C.

3. Resultados y discusión

3.1. Building A results

The comparison between theoretical and measured energy consumptions indicate that the non-renewable Primary Energy of Building A is 153,7 kWh/m²-a in contrast with predicted 99,8 kWh/m²-a by the EPC, which means a significant 54% more energy use at building level. It is relevant to notice that despite the higher non-renewable primary energy consumption than the building EPC, the measured delivered energy in these dwellings is clearly lower than the EPC energy needs. The measured heating and DHW energy delivered to all the apartments is 4969,1 kWh per dwelling and year, that is 52,1 kWh/m²-a, and this value is remarkably lower than the final energy consumption of 89,0 kWh/m²-a according to EPC, namely 41,5% less. The measured performance of the boilers is similar to the expected in the EPC, with a combustion efficiency of around 90%. For this reason, the difference lies in other two main factors. On the one hand, the user profile of these dwellings influences significantly due to a low energy demand. On the other hand, the EPC calculations don't consider the heat losses due to distribution, recirculation and only part of the storage of the centralized system [21]. The main results of Building A and Building B are summarized in Table 3.

Regarding the centralized system global performance, the natural gas consumption is to a great extent larger than the energy consumed by heating and DHW in the dwellings. The measured consumptions indicate that the average performance of the

	Building A		Building B	
	Measured	EPC	Measured	EPC
Non-renewable Primary Energy Consumption (CEPNR) [kWh/m ² a]	153,7	99,8	98,3	260,9
Final Energy Consumption (CEF) [kWh/m ² a]	139,6	89,0	82,6	219,2
Natural Gas Consumption [kWh/dwelling-y]	12.324,8	-	5.633,0	-
Heating and DHW consumption (CEU) [kWh/dwelling-y]	4.969,1	-	5.013,3	-
Heating consumption (CEU) [kWh/m ² -y]	25,5	55,11	39,5	140,3 ¹
DHW consumption (CEU) [m ³ /user-y]	13,9	9,77	17,9	10,22

Tabla 3. Resultados del análisis de consumos energéticos del Edificio A y del Edificio B. ¹ Demanda de calefacción del CEE.

todas las viviendas es en promedio de 4969,1 kWh/viv-a, o lo que es lo mismo, 52,1 kWh/m²a; y es notablemente inferior al consumo de energía final indicado en el CEE de 89,0 kWh/m²a, un 41,5 % menos. El rendimiento de las calderas es similar al previsto en el CEE, con un rendimiento de combustión en torno al 90 %. Por ello, la diferencia se debe a otros dos factores principalmente. Por un lado, el perfil de usuario de este tipo de viviendas influye notablemente en el consumo. Por otro lado, el consumo de energía final del CEE no tiene en cuenta las pérdidas por distribución, recirculación y sólo una parte del almacenamiento de la instalación [21]. En la Tabla 3 se muestran los principales resultados obtenidos en este estudio para las dos promociones analizadas.

En relación al análisis del rendimiento global del sistema, el consumo de Gas Natural es mucho mayor que la energía consumida por los servicios de calefacción y ACS de las viviendas. Los consumos reales indican que el rendimiento promedio anual de la instalación es de un 37,3 %. Las pérdidas de energía en esta instalación centralizada son considerablemente altas, oscilando desde un máximo de 152.978 kWh en marzo hasta un mínimo de 44.852 kWh en julio. En la Fig. 4 se muestran los resultados del análisis energético a nivel de promoción y a nivel de vivienda para el Edificio A. En la Fig. 4.a se representan las entradas y salidas de energía de la instalación de producción centralizada del Edificio A: la alimentación de Gas Natural y la producción de energía solar térmica, en color naranja, frente al consumo de calefacción y ACS, en columnas apiladas en colores rojo y verde.

building system is 37,3%. The heat losses of this centralized system are remarkably high, oscillating from 152.978 kWh in March to a minimum of 44.852 kWh in July. The results of this energy analysis at building scale and dwelling scale are presented in Fig 4.a. The energy inputs and outputs of Building A includes: natural gas consumption and solar thermal generation, in an orange line, in contrast with the dwelling consumption of heating and DHW, in in red and green columns.

Figura 4a. Consumos energéticos del Edificio A, Pablo Hernández-Cruz, 2019.

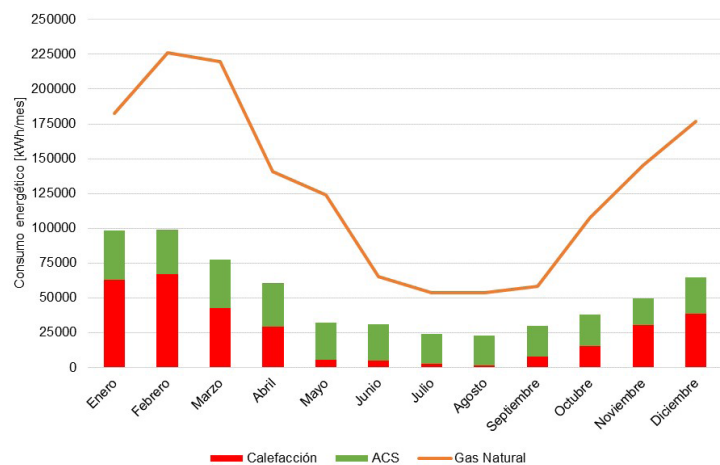
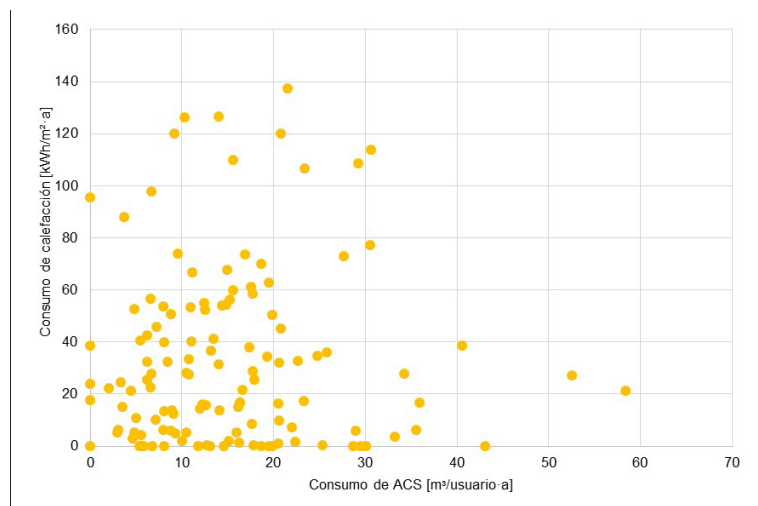


Figura 4b. per user of Building A, Pablo Hernández-Cruz, 2019. Figura 4.b: Consumo de calefacción por unidad de superficie y consumo de ACS por usuario del Edificio A, Pablo Hernández-Cruz, 2019.



El análisis pormenorizado de las viviendas confirma que existe una gran dispersión en el consumo energético y demuestra la importancia del factor usuario. Del total de 126 viviendas, 81 consumen más ACS que la estimada por el CTE (10,22 m³/usuario-a), de ellas 31 consumen incluso más del doble. En cuanto al consumo de calefacción, 25 viviendas consumen más energía por unidad de superficie útil que la demanda de calefacción estimada por el CEE (55,1 kWh/m²-a), siendo solamente 6 las que consumen más del doble de la demanda de calefacción del CEE. En la Fig. 4.b se muestran los consumos anuales de las viviendas de calefacción por unidad de superficie y el consumo anual de ACS por usuario.

3.2. Resultados edificio B

El CEPNR real del Edificio B es de 98,3 kWh/m²-a, tal y como se indica en la Tabla 3, mientras que el CEE indica que este valor debería ser 260,9 kWh/m²-a. Al contrario del Edificio A, el consumo real del edificio es un 62,3 % menor que el teórico. No fue posible analizar los consumos mensuales, ya que en el Edificio B no hay datos de consumos mensuales, sino solamente anuales, tal y como se ha descrito en el apartado de metodología.

Se observa una alta dispersión en el consumo de Gas Natural por viviendas y que no existe una relación clara entre el número de dormitorios o usuarios y el consumo energético, tal y como se puede deducir de la Fig. 5.a, donde se analiza el consumo de Gas Natural en las viviendas, agrupadas en función del número de dormitorios (2, 3 y 4 dormitorios) y el número de usuarios (1, 2, 3 o más de 3). Solamente 4 de las 228 viviendas que componen el Edificio B consumen más Gas Natural por unidad de superficie útil que el consumo de energía final estimado por el CEE (219,2 kWh/m²-a). También hay una dispersión notable a nivel de portales, ya que tampoco aparecen relaciones claras, como se observa en la Fig. 5.b, con los percentiles de consumo de Gas Natural de cada uno de los 13 portales del edificio.

Por otro lado, el análisis según la posición en altura de las viviendas sí detecta algunas tendencias. En la Fig. 5.c se representa el consumo de Gas Natural por unidad de superficie útil de la vivienda y organizando las viviendas por plantas bajas, plantas intermedias y plantas altas. De esta figura se deduce que el consumo de las viviendas ubicadas en planta baja es superior al resto de viviendas, mientras que el de plantas intermedias y altas es similar.

Finalmente, no se deduce una relación clara entre el consumo y la orientación de las viviendas. En la Fig. 5.d se representa el consumo de Gas Natural por superficie útil y se agrupan las viviendas según su orientación. Es destacable que las viviendas con orientación sur no tienen un consumo significativamente menor que el resto de orientaciones, como cabría esperar. Las viviendas con menor consumo

The detailed analysis of the dwelling profiles confirms that there is a wide scattering of energy consumption and proves the relevance of the user's factor. From the total of 125 dwellings, 81 consumed more DHW than the estimated by current CTE (10,22 m³/user-a) and of them, 31 consumed even more than the double. Concerning the heating use, 25 dwellings consumed more energy than the estimated EPC heating demand (55,1 kWh/m²-a) and only 6 consume the double. In Fig. 4.b is shown the delivered energy in the dwellings according to the heating consumption per net floor area and the DHW consumption per user.

3.2. Building B results

The non-renewable primary energy consumption of Building B is 98,3 kWh/m²-a, as specified in Table 3., while this value in the EPC is 260,9 kWh/m²-a. Unlike in Building A, the actual consumption of Building B is clearly lower than the EPC, 62,3% below the theoretical value. It was not possible to analyse the monthly use, because in Building B there was no information about dwellings monthly bills, only the annual gas use, as described in the methodology section.

A wide dispersion of data is observed regarding the natural gas consumption in different dwellings and there is no clear relation between the number of bedrooms or users and the energy use, as it can be deduced in Fig.5.a, where the gas consumption of dwellings is analysed, grouping the results by the number of bedrooms (2, 3 and 4) and the number of users (1, 2, 3 and more than 3). Only 4 out of these 228 dwellings consume more gas per net floor area than the value calculated in the EPC (219,2 kWh/m²-a). Besides, there is an important dispersion at housing block level, because there are no clear relations with location and energy use, as shown in Fig. 5.b, which represents the gas consumption percentiles in each one of the 13 blocks of Building B.

On the other hand, the analysis according to dwelling rise helped identifying some trends. Fig. 5.c includes the natural gas consumption per net floor area of the dwellings grouped by low floors, middle floors and high floors. The analysis of this figure help deducing how the low floor dwellings have the highest consumption, while the middle or high ones are similar.

Finally, there is no clear association between gas consumption and dwelling orientation. Fig. 5.d relates gas consumption per net floor area of the dwellings with similar orientations. It is noticeably that South-facing dwellings don't show a significant lower energy use than the other orientations, as one may expect. The dwellings with the lowest energy use are facing West, while the ones with the highest energy use are either facing East or located in the corners of the building. This analysis confirms once more that the user behaviour is a major factor in this

Figura 5a.
Consumo anual de Gas Natural por tipología de vivienda del Edificio B, Pablo Hernández-Cruz, 2019.

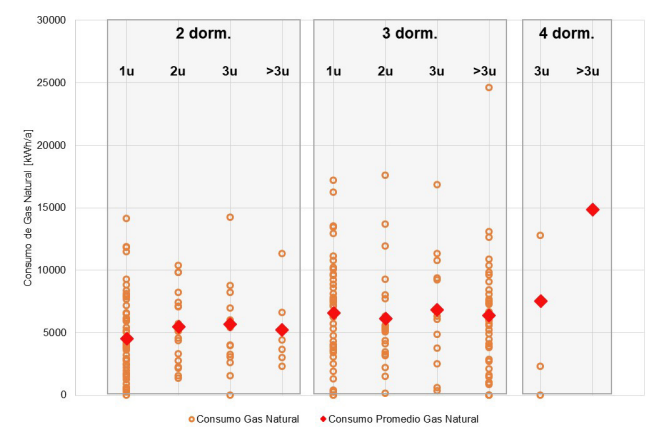


Figura 5b.
Consumo anual de Gas Natural por portales del Edificio B, Pablo Hernández-Cruz, 2019.

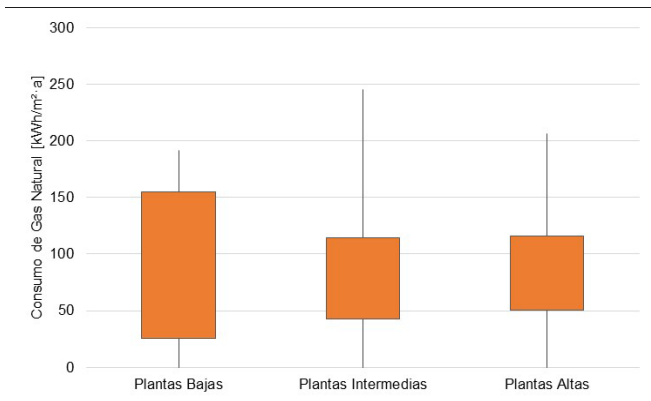
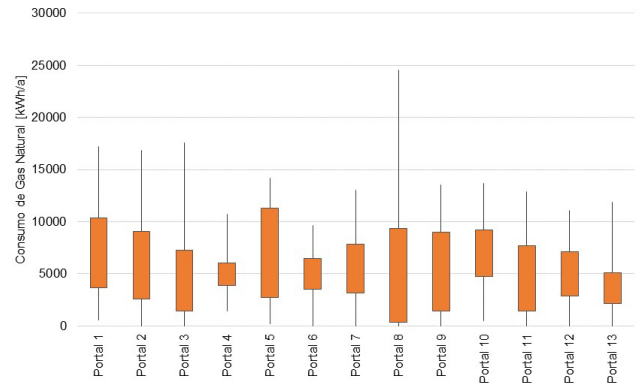


Figura 5c.
Consumo anual de Gas Natural por plantas y superficie útil en el Edificio B, Pablo Hernández-Cruz, 2019.

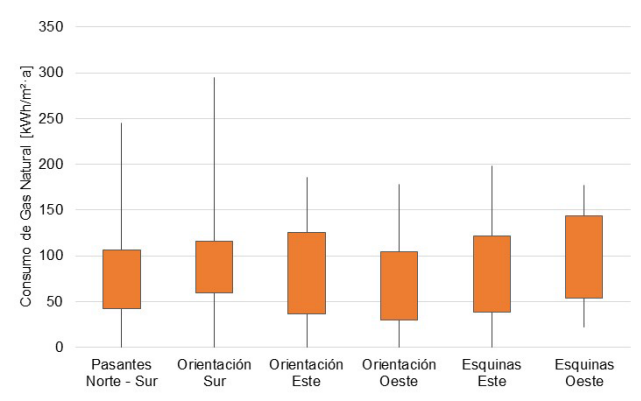


Figura 5d.
Consumo anual de Gas Natural por orientaciones y superficie útil en el Edificio B, Pablo Hernández-Cruz, 2019.

son las que disponen de orientación oeste, mientras que las viviendas orientadas hacia el este y aquellas situadas en las esquinas del edificio son las que más consumen. Con este análisis se deduce que el factor usuario en este tipo de viviendas juega un rol muy importante, mayor incluso que la tipología de vivienda u orientación; ya que para viviendas de características idénticas existen consumos muy dispares.

3.3. Comparación entre los Edificios A y B

La principal diferencia reside en que la instalación energética del Edificio B es individual con producción instantánea y por ello prácticamente no tiene pérdidas por acumulación, distribución o recirculación. De este modo, el CEF es prácticamente el mismo que el CEU. Esto es, el rendimiento de la instalación del Edificio A es de un 37,3 %, calculado a partir del balance de consumos energéticos reales, mientras que para el Edificio B se ha supuesto que el rendimiento de las calderas individuales es de un 89

building type, larger than the orientation or the dwelling typology; because dwellings with very similar features have indeed completely different energy consumptions.

3.3. Comparison between Building A and Building B

The main difference is that the energy system of Building B is individual with instant hot water production and so it does not have almost any heat losses considering due to storage, distribution or recirculation. By doing so, the Final Energy Consumption (CEF) is nearly the same as the delivered energy (CEU). In other words, the performance of the system of Building A is 37,3%, calculated from the balance of actual consumptions, while for Building B it was assumed the 89% performance of the individual boilers according to the EPC. This provokes that the difference between measured consumptions and theoretical of non-renewable primary energy consumption of

%, según los valores del CEE. Esto provoca que a nivel de edificio la diferencia entre consumos reales y teóricos del CEPNR sea de un 54,0 % más en el Edificio A y de un 62,3 % menos en el edificio B. Sin embargo, si se analiza el consumo final en las viviendas del Edificio A, el CEU real con el CEF del CEE, se obtiene que los usuarios consumen un 41,5 % menos energía que la prevista por el CEE. Para el caso del edificio B, al no haber diferencia entre CEU y CEF conlleva que los usuarios consumen también un 62,3 % de menos energía que la indicada por el CEE.

En cuanto al consumo anual de Gas Natural por vivienda, se tiene que el consumo en el Edificio A es de 12.324,8 kWh/viv-a mientras que en el Edificio B el consumo es de 5.633 kWh/viv-a. Estos consumos en términos de energía útil (calefacción y ACS) suponen que los usuarios del Edificio A han consumido un promedio de 4969,1 kWh/viv-a, mientras que en el Edificio B el consumo promedio por vivienda es de 5.013,3 kWh/viv-a. Si se tiene presente que el Edificio A es construido en 2010 bajo el CTE y el Edificio B es anterior, se comprueba de nuevo que las pérdidas de calor en la instalación energética del Edificio A son considerables. Esto también se aprecia cuando se separa el consumo de energía útil por los servicios de calefacción y ACS. En la Tabla 3 se indica que el consumo real de calefacción por unidad de superficie es de 25,5 kWh/m²a en el Edificio A y de 39,5 kWh/m²a en el Edificio B, con lo que el consumo de calefacción por unidad de superficie del Edificio B es considerablemente superior al del Edificio A. Comparando consumo real frente a la demanda de calefacción del CEE, es un 53,7 % menor en el Edificio A y un 71,8 % menor en el Edificio B.

En general, los resultados indican que el consumo energético real es notablemente menor que el consumo teórico, lo que puede ser un indicativo de que algunas de las viviendas analizadas estén en riesgo de pobreza energética. Para descubrir si existe un riesgo considerable, se realizó un análisis simplificado del riesgo de pobreza energética, utilizando el bajo gasto energético absoluto (M/2), como uno de los indicadores primarios de pobreza energética según el EPOV [17]. Se calcula el porcentaje de viviendas cuyo gasto energético sea menos de la mitad de la media nacional. Para el Edificio A, donde se disponen de datos de consumo de calefacción diferenciado, se ha utilizado como referencia el estudio SPAHOUSEC [3], que cuantificó el consumo medio de calefacción por vivienda en pisos de la zona continental en 4.408 kWh/viv-a en el año 2011. Según este indicador se tiene que un 55,4 % de las viviendas del Edificio A consumen menos de la mitad de este valor y por ello están en situación de pobreza energética. En el Edificio B, donde no hay consumos diferenciados por servicios, se ha utilizado como referencia el consumo medio anual de Gas Natural por vivienda en la región de Vitoria-Gasteiz, Álava, que fue de 8.020 kWh/viv-a en 2011 [4]. Según este otro indicador, el 37,1 % de las viviendas están en situación de pobreza

EPC at building level are 54% higher in Building A and 62,3% lower in Building B. Having said that, it is also true that if the dwelling energy use, the actual CEU is compared with the final energy consumption (CEF) of the EPC, the social housing dwellings of Building A actually use 41,5% less energy than the estimated value of the EPC. In Building B, as there is no difference between CEU and CEF, these dwellings use also a 62,3% less energy than the EPC.

In regard to the annual natural gas use per dwelling, housings of Building A use on average 12.324,8 kWh per dwelling and year, and the ones in Building B use only 5.633 kWh. In terms of delivered energy for heating and DHW, Building A consumed 4969,1 kWh per dwelling and year, comparable to the 5.013,3 kWh in Building B homes. Bearing in mind that Building A was built in 2010 under CTE requirements but Building B was constructed before that regulation, this underlines again that the heat losses in the energy system of Building A are considerable. This is also seen when the delivered energy is separated in heating and DHW services. Table 3 shows that the actual heating use is around 25,5 kWh/m²a in Building A and 39,5 kWh/m²a in Building B, that is, Building B heating use is significantly over the one for Building A. The comparison between the actual consumption with the EPC heating demand, it is 53,7% lower in Building A and an increasingly lower 71,8% in Building B.

At large, the results manifest that the energy use is noticeably lower than the theoretical value, which could point to the presence of users under energy poverty risk. To discover if there is a considerable risk, a simplified analysis of the energy poverty was carried out, using the low absolute energy expenditure (M/2), as one of the primary indicators of energy poverty according to the EPOV [17]. That is, a calculation based on the percentage of households whose energy expenditure is less than half of the national average. For Building A, where heating use is differentiated from the rest of energy services, the SPAHOUSEC study [3] of 2011 was taken as a reference, which quantified the average heating consumption per apartment in continental climate at 4,408 kWh. According to this indicator and reference, 55,4% of these dwellings consume less than half of the Spanish average and therefore are in situation of energy poverty. In Building B, where there were no differentiated consumptions for services, the average annual consumption of Natural Gas per dwelling in the region of Vitoria-Gasteiz, Álava, was used as a reference, which was 8,020 kWh per dwelling in the year 2011. According to this other indicator, 37,1% of homes in Building B are in a situation of energy poverty, because they consume less than half of the province's average. These results are shown in Table 4.

According to this primary indicator, a greater number of users were found to be in energy poverty in

Building	Base parameter	Indicator Value [kWh/dwelling·y]	Threshold value [kWh/dwelling·y]	Indicator M/2
A	Average annual heating consumption per dwelling in continental Spain, SPAHAUSEC 2011 [3]	4.408 kWh/viv·a	2.204 kWh/viv·a	55,4 %
B	Average annual Natural Gas consumption per dwelling in Álava, EVE 2011 [4]	8.020 kWh/viv·a	4.010 kWh/viv·a	37,1 %

Tabla 4. Indicadores energéticos y riesgo de pobreza energética.

energética en el Edificio B, por consumir menos de la mitad del promedio de la provincia. Estos resultados se recogen en la Tabla 4.

De acuerdo a este indicador primario, se observa que hay un mayor número de usuarios en situación de pobreza energética en el Edificio A que en el Edificio B. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se han empleado dos parámetros base diferentes, basados en los datos disponibles de hace 8 años. En todo caso, estos resultados evidencian un riesgo considerable y se propone hacer estudios más pormenorizados, utilizando el resto de indicadores del EPOV y un enfoque transversal más allá de la energía.

4. Conclusiones

Se han analizado los consumos energéticos reales de dos bloques de viviendas de alquiler social, uno con instalación de calefacción y ACS centralizada y otro con instalaciones individuales. La comparación entre consumos reales y consumos de energía teóricos del CEE indican resultados muy diferentes en cada edificio. Se ha encontrado que el CEPNR real en el Edificio A con instalación centralizada es un 54 % mayor que el teórico, mientras que en el Edificio B con instalaciones individuales el consumo real es un 62,3 % menor. El aumento del consumo en el Edificio A se debe a las elevadas pérdidas de calor en distribución, recirculación y acumulación, que reducen el rendimiento anual de la instalación al 37,3 %.

El consumo de energía útil de los usuarios es mucho menor que el teórico indicado por el CEE. El consumo de calefacción en el Edificio A es un 53,7 % menor que el teórico, mientras que en el Edificio B es un 71,8 % menor. Se han identificado varias causas para estas diferencias, tales como el sobredimensionado en diseño, el cálculo del CEE o la operación ineficiente de la instalación centralizada. Sin embargo, uno de los factores más importantes es el perfil del usuario. A partir del análisis pormenorizado por viviendas, se ha comprobado que la dispersión en el consumo energético es muy elevada. En el Edificio A se ha encontrado que el consumo de calefacción y ACS no está relacionado directamente con la superficie útil de la vivienda, ni con el número de usuarios de la misma. De forma similar, en el Edificio B se ha observado que el consumo de Gas Natural no depende directamente de la tipología de las viviendas, sino del comportamiento de los usuarios.

Building A than in Building B. However, it must be taken into account that two different parameters have been used, and that they are based on the data available 8 years ago. In any case, these results manifest a considerable risk and more detailed energy poverty evaluations are proposed for further studies, using the rest of EPOV indicators and a broader approach beyond energy.

4. Conclusions

The actual energy consumptions of two social housing buildings have been analysed, one with centralized heating and DHW systems and another with individual boilers. The comparison between EPC predicted and measured energy consumptions showed very different results for each building. The non-renewable Primary Energy of Building A, with a centralized system proved to be 54% higher than the predicted value, while Building B with individual systems was 62,3% lower than the predicted number. The excess of consumption of Building A is caused by the considerable heat losses in distribution, recirculation and storage of DHW and heating, that reduce greatly the seasonal performance of the system down to 37,3%.

The delivered energy to the dwellings demonstrated to be considerably lower than the theoretical value of the EPC. The measured heating use inside the dwellings of Building A is 53,7% lower than the theoretical need, while in Building B the difference is higher, up to 71,8% lower than the calculated heating use. Several possible reasons have been identified, such as the oversize of the systems at design stage, the EPC calculations or the inefficient management in the case of the centralized system. Having said that, the user behaviour has also been one of the main driving factors. From the detailed analysis of the dwellings, a great scattering of values has been noted. In Building A no direct connection has been found between the heating or DHW uses and apartments net floor area or number of occupants. In the same way, gas natural consumption in dwellings of Building B is not clearly connected to their typology, but to the inhabitants' behaviour.

Based on these findings, a preliminary energy poverty analysis was carried out. Even though these results must be interpreted with caution, because they are based on different indicators, an important

Con estos resultados, se ha realizado un análisis preliminar del riesgo de pobreza energética en estas viviendas. Aunque los resultados deben interpretarse con precaución, ya que se basan en parámetros base diferentes, se ha detectado un elevado número de viviendas en riesgo de pobreza energética (55,4 % en el Edificio A y 37,1 % en el Edificio B). Estos resultados ayudan a profundizar en los estudios de consumos energéticos en este tipo de viviendas, como paso imprescindible para detectar las causas y proponer soluciones eficientes para mejorar el consumo de las instalaciones energéticas y las condiciones de habitabilidad de las viviendas.

number of dwellings in energy poverty risk has been found (55,4% in Building A and 37,1% in Building B). These results can contribute to deepen further the studies of energy consumption in this type of housing buildings, as an essential step to find out the causes and propose efficient solutions to improve both the energy efficiency of these systems and the indoor conditions of social housing.

Agradecimientos / Acknowledgements

This work has been possible because of the agreement held between the Public Society ALOKABIDE and the ENEDI Research Group of the University of the Basque Country, within the PCTI initiative and the "Plan Integral 2018-2020 de Rehabilitación nZEB del Parque Residencial Público de Alquiler". Additionally, thanks to the "Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación" and the "Dirección de Vivienda y Arquitectura del Departamento de planificación territorial, urbanismo y regeneración urbana" of the Basque Country Government.

Este trabajo ha sido posible gracias al convenio celebrado por la sociedad pública ALOKABIDE, de colaboración con el Grupo de investigación ENEDI de la Universidad del País Vasco UPV/EHU, dentro de la iniciativa PCTI y el Plan Integral 2018-2020 de Rehabilitación nZEB del Parque Residencial Público de Alquiler. Igualmente agradecimientos al Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación y a la Dirección de Vivienda y Arquitectura del Departamento de planificación territorial, urbanismo y regeneración urbana del Gobierno Vasco.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] European Commission, "Energy Performance of Buildings," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings>. [Accessed: 26-Jun-2019].
- [2] IDAE, "Consumo de Energía Final," 2019. [Online]. Available: <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=2017&tipbal=t>. [Accessed: 26-Jun-2019].
- [3] IDAE, "SPAHOUSEC - Consumos del Sector Residencial en España - Resumen de Información Básica," 2011.
- [4] Ente Vasco de la Energía (EVE), "Clave energéticas del sector doméstico en Euskadi," 2013.
- [5] European Commission, "Clean energy for all Europeans," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy-and-energy-union/clean-energy-all-europeans>.
- [6] The European Parliament and the Council of the EU, Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency. 2018.
- [7] The European Parliament and the Council of the EU, Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC. 2012.
- [8] The European Parliament and the Council of the EU, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. 2010.
- [9] The Ministry of Presidency of the Spanish Government, Royal Decree 235/ 2013, of 5th of April 2013, by which it is approved the basic procedure for the Energy Performance Certification of Buildings. 2013.
- [10] "PROBE - Post Occupancy Studies." [Online]. Available: <https://www.cibse.org/building-services/building-services-case-studies/probe-post-occupancy-studies>. [Accessed: 26-Jun-2019].
- [11] "CarbonBuzz." [Online]. Available: <https://www.carbonbuzz.org/partners.jsp>. [Accessed: 26-Jun-2019].
- [12] P. De Wilde, "The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation," *Autom. Constr.*, vol. 41, pp. 40–49, 2014.
- [13] A. C. Menezes, A. Cripps, D. Bouchlaghem, and R. Buswell, "Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap," *Appl. Energy*, vol. 97, pp. 355–364, 2012.
- [14] F. Haldi and D. Robinson, "On the behaviour and adaptation of office occupants," *Build. Environ.*, vol. 43, pp. 2163–2177, 2008.
- [15] M. Herrando, D. Cambra, M. Navarro, L. de la Cruz, G. Millán, and I. Zabalza, "Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The gap between estimated and real energy consumption," *Energy Convers. Manag.*, vol. 125, no. January 2014, pp. 141–153, 2016.
- [16] D. Majcen, L. C. M. Itard, and H. Visscher, "Theoretical vs. actual energy consumption of labelled dwellings in the Netherlands: Discrepancies and policy implications," *Energy Policy*, vol. 54, pp. 125–136, 2013.
- [17] European Commission, "Energy Poverty Observatory." [Online]. Available: <https://www.energypoverty.eu/>.
- [18] M. D. R. and D. P. Pye S, Dobbins S, Baffert C, Brajkovič J, Grgurevič I, "Energy Poverty and Vulnerable Consumers in the Energy Sector Across the EU: Analysis of Policies and Measures London," *Insight*, 2015.
- [19] Departamento de Desarrollo Económico y Competitividad, DECRETO 178/2015, de 22 de septiembre, sobre la sostenibilidad energética del sector público de la Comunidad Autónoma de Euskadi. 2015.
- [20] Gobierno Vasco, "PCTI Euskadi 2020." [Online]. Available: <http://www.euskadi.eus/pcti-euskadi-2020/web01-a2lehpc/es/>. [Accessed: 26-Jun-2019].
- [21] IDAE, "Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER," 2009.

Análisis y comparación sobre los sellos sostenibles adquiridos en la Torre Iberdrola y en las Torres de Bolueta

Analysis and comparison of the sustainable seals acquired in the Iberdrola Tower and in the Bolueta Towers

Javier Barrios-Rodríguez¹, Itxaso Pérez², Xabat Oregi³

ABSTRACT

Para la sesión de comunicación se decide exponer un análisis sobre dos edificios característicos de la ciudad de Bilbao: La Torre Iberdrola y las Torres de Bolueta.

Ambas construcciones han obtenido sellos sobre sostenibilidad como son la Certificación LEED y el Certificado Passivhaus, pero es evidente la diferencia entre estas dos torres estando en la misma ciudad y aún teniendo una altura muy similar. Por ello, se ha realizado una comparativa de los programas a seguir de estos proyectos para la obtención de su respectivo certificado y si ese sello realmente les da un carácter sostenible.

En esta ponencia se comenta la obtención de dichos sellos desde una visión crítica. Comenzando por el análisis climático de la ciudad mediante el programa Climate Consultant que permite evaluar las condiciones climáticas y las estrategias bioclimáticas que se deben llevar a cabo para alcanzar el confort. En el caso de esta ciudad, las estrategias pasivas más relevantes serían el buen sombreadamiento y las ganancias solares pasivas.

En cuanto a los sellos obtenidos, se ve que la Torre Iberdrola ha alcanzado el sello más alto de la marca sumando puntos por su ubicación en el centro de la ciudad y su cercanía a transportes públicos, y a pesar de ver una intención sostenible y de confort interior no hubiera alcanzado el mismo resultado hallándose en cualquier otro lugar. Sus fachadas compuestas por doble piel de vidrio ofrecen una solución sostenible, pero no la más adecuada para una ciudad como Bilbao.

En cuanto a las Torres de Bolueta, totalmente contrarias a la anterior y herméticas, incluyen elementos que garantizan el consumo energético "casi nulo" y prometen una gran rentabilidad gracias al sistema Passivhaus, de manera que hasta les dan el valor de viviendas de protección oficial. Plantean la posibilidad de utilizar este sistema en cualquier clima y en cualquier tipo de edificación, pero para ello se debe realizar una adaptación del sistema original al nuevo entorno, lo cual quizá no esté bien regulado. Cumpliendo los requisitos del Passivhaus alcanzan un alto grado de confort interior, pero no tiene en cuenta otros aspectos más allá para conseguir la sostenibilidad.

Por ello, se cree que ninguna se adapta correctamente a la ciudad ya que ambas tienen problemas y son exageraciones totalmente contrarias que resultan escasas o excesivas para una ciudad como Bilbao. Lo ideal sería construir una edificación sin la necesidad de buscar "atajos" o estrategias para lograr un sello simplemente por el valor que da, sino que realmente se quiera llevar a cabo un edificio que dé una solución verdaderamente sostenible y adaptada a su entorno.

Key Words: Bilbao, sostenibilidad, confort, LEED, passivhaus

1. Introducción

Atrás han quedado los años en los que Bilbao era considerada una ciudad gris e industrial. Tras el cambio de siglo, la capital vizcaína ha sufrido un cambio notorio, convirtiéndose en uno de los lienzos de arquitectos como Norman Foster o Frank Gehry. (Fig.1)

1. Introduction

Gone are the years in which Bilbao was considered a gray and industrial city. After the turn of the century, the Biscayan capital has undergone a notorious change, becoming one of the canvases of architects like Norman Foster or Frank Gehry. (Fig.1)



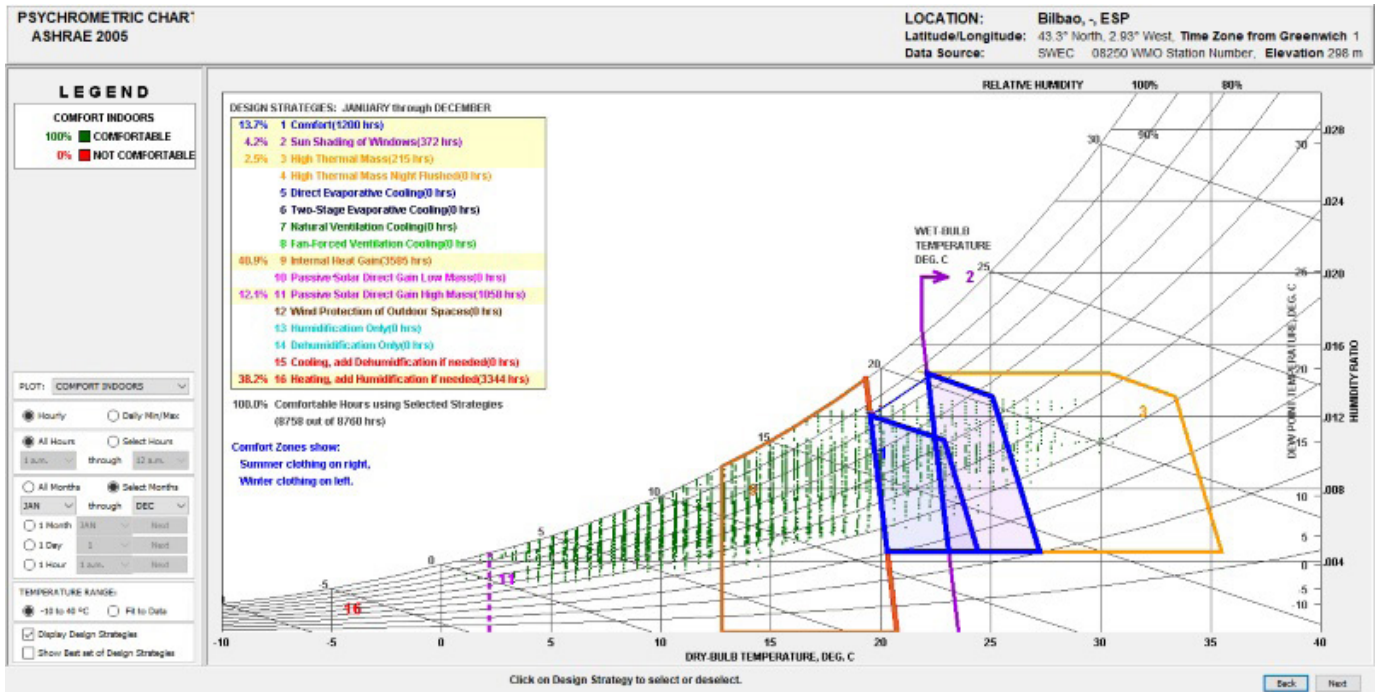
Figura 1.
Vista aérea de Bilbao con los edificios modernos de los últimos años. Iberdrola.

Es tal la transformación de la ciudad, que se ha convertido en un icono mundial del avance tecnológico y la arquitectura, dando pie a la búsqueda de una imagen de ciudad de futuro avanzado y de desarrollo. Es por tanto, que Bilbao siempre apuesta por un desarrollo de calidad y de tendencia. Para ello se apunta a las calificaciones y sellos de talla mundial que no solo den la imagen de cara al público, sino con la idea de mejorar la ciudad de manera sostenible. Edificios como la Torre Iberdrola y Las Torres de Bolueta son "dos nuevos edificio referentes dentro de los sellos de la sostenibilidad" como el LEED y Passivhaus, dos edificios con una geometría parecida (torre), en la misma zona climática (Bilbao), pero con unos requisitos y prestaciones totalmente diferentes. Por ello, ¿Cuál de las dos es "la mejor"? ¿cual es más sostenible?, ¿Por qué?.

Mediante el uso de programa climate consultant, (Fig.2) entre otros datos se obtiene el diagrama psicrométrico, que proporciona una gráfica del estado o condición del aire en cada momento del año. La gráfica relaciona la temperatura (línea horizontal), la humedad (línea vertical). Marcados en verde se indican los momentos del año correspondientes con el confort en la zona de Bilbao dentro de unas áreas que

Such is the transformation of the city, which has become a global icon of technological advancement and architecture, giving rise to the search for an image of a city with an advanced future and development. Therefore, Bilbao is always committed to quality and trend development. To this end, it is aimed at world-class qualifications and stamps that not only give the image to the public, but with the idea of improving the city in a sustainable manner. Buildings such as the Iberdrola Tower and the Towers of Bolueta are "two new building references within the seals of sustainability" such as LEED and Passivhaus, two buildings with a similar geometry (tower), in the same climatic zone (Bilbao), but with totally different requirements and benefits, for which reason, which of the two is "the best"? Which is more sustainable? Why?

Using the climate consultant program, (Fig.2) among other data, the psychrometric diagram is obtained, which provides a graph of the state or condition of the air at each time of the year. The graph relates the temperature (horizontal line), humidity (vertical line). Marked in green, the corresponding moments of the year are indicated with comfort in the Bilbao area within areas that indicate the strategy or sys-



indican la estrategia o sistema utilizado. La tabla superior muestra dichas estrategias bioclimáticas que se pueden llevar a cabo para abarcar un mayor rango de confort en los edificios que se vayan a construir. En el caso de Bilbao podemos observar las estrategias pasivas más relevantes son el implementación de sistemas activos como calefacción, aislamiento con inercia térmica y la recuperación de calor.

Es destacable comentar que pasivamente se consigue un 13% del confort durante al año y con estrategias pasivas aumentamos un 16% más. Casi un 30% del confort solo por estar en Bilbao.

Por tanto, durante la primera etapa del artículo se evaluarán los requisitos de cada sello y a continuación se describirán las características de cada uno de los edificios.

2. Características de los Sellos

2.1. Certificación LEED

La certificación LEED acrónimo de Leadership in Energy and Environmental Design o Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, es el estándar de sostenibilidad más extendido y prestigioso en la actualidad. Evalúa el edificio en diferentes categorías de sostenibilidad, siendo la unión con el estándar PassivHaus, que certifica la máxima eficiencia energética de un edificio.

Para la certificación LEED, es vital la implicación en el proyecto desde el primer instante, a fin de definir los parámetros principales que marca el estándar y poder desarrollar el proyecto enfocado de manera adecuada a conseguir los créditos a los que se planea optar.[2]

tem used. The table above shows these bioclimatic strategies that can be carried out to cover a greater range of comfort in the buildings that are going to be built. In the case of Bilbao we can observe the most important passive strategies are the implementation of active systems such as heating, insulation with thermal inertia and heat recovery.

It is noteworthy to mention that passively 13% of comfort is achieved during the year and with passive strategies we increase 16% more. Almost 30% of the comfort just for being in Bilbao.

Therefore, during the first stage of the article the requirements of each seal will be evaluated and then the characteristics of each of the buildings will be described.

2. Features of the Seals

2.1. LEED Certification

The LEED certification, acronym for Leadership in Energy and Environmental Design or Leadership in Energy and Environmental Design, is the most widespread and prestigious standard of sustainability at present. Evaluates the building in different sustainability categories, being the union with the PassivHaus standard, which certifies the maximum energy efficiency of a building.

For LEED certification, the involvement in the project is vital from the first moment, in order to define the main parameters set by the standard and to be able to develop the project focused in an appropriate manner to obtain the credits to which it is planned to opt. [2]

Figura 2. Diagrama psicrométrico de la ciudad de Bilbao.

Por ello, se comienza el proceso realizando un estudio de viabilidad, en el cual se decide a qué créditos se pretende conseguir, en base a los diversos factores que afectan al edificio, como su ubicación, uso, etc. En esta fase se marca el objetivo que se pretende alcanzar.

Los edificios con certificación LEED están diseñados para:

- Soportar menores costos de operación y aumentar el valor de los activos.
- Reducir los residuos enviados a los vertederos.
- Conservar la energía y el agua.
- Ser más saludables y más seguros para los ocupantes.
- Reducir las emisiones de gases nocivos de efecto invernadero.
- Beneficiarse de desgravaciones fiscales, permisos de zonificación y otros incentivos en cientos de municipios.
- Demostrar el compromiso del propietario con el cuidado del medioambiente y con la responsabilidad social.

El "U.S. Green Building Council" categoriza la Certificación en LEED CERTIFIED, LEED SILVER, LEED GOLD y LEED PLATINUM, en función del número de créditos conseguidos.(Fig.3)



Figura 3.
Los diferentes sellos LEED según la puntuación.

Tras esta primera fase, se continúa el desarrollo del proyecto, enfocando el diseño de cara a cada uno de los créditos a los que se quiere optar, realizándose de manera periódica reuniones entre los equipos involucrados, a fin de conseguir la cohesión deseada entre Instalaciones, Arquitectura, Urbanismo y Certificación.

Tras finalizar la elaboración de proyecto, hay que encargarse de toda la gestión documental necesaria para la certificación LEED posterior al proyecto,

Therefore, the process begins with a feasibility study, in which it is decided which credits are to be chosen, based on the various factors that affect the building, such as its location, use, etc. In this phase, the objective to be achieved is marked.

LEED certified buildings are designed to:

- Support lower operating costs and increase the value of assets.
- Reduce waste sent to landfills.
- Conserve energy and water.
- Be healthier and safer for the occupants.
- Reduce emissions of harmful greenhouse gases.
- Benefit from tax deductions, zoning permits and other incentives in hundreds of municipalities.
- Demonstrate the owner's commitment to caring for the environment and social responsibility.

The "U.S. Green Building Council" categorizes the Certification into LEED CERTIFIED, LEED SILVER, LEED GOLD and LEED PLATINUM, depending on the number of credits achieved. (Fig.3)

After this first phase, the development of the project is continued, focusing on the design of each of the credits to be chosen, with meetings between the involved teams being held periodically, in order to achieve the desired cohesion between the Facilities, Architecture, Urban Planning and Certification.

After completing the project development, it is necessary to take care of all the necessary document management for the LEED certification after the project, providing consulting services during the Construction phase, and taking the documentary control of all the necessary work information for the process of Certification.

prestando servicios de consultoría durante la fase de Construcción, y llevando el control documental de toda la información de obra necesaria para el proceso de Certificación.

La certificación LEED se basa en la incorporación en el proyecto de aspectos relacionados con: [1]

- El desarrollo sostenible de los espacios libres de la parcela.
- La eficiencia del consumo de agua.
- La eficiencia energética.
- El uso de energías alternativas.
- La mejora de la calidad ambiental interior.
- La selección de materiales y el manejo de desechos en la construcción.

Proceso de certificación LEED, edificios con certificación LEED en España:

Para certificar un proyecto LEED, las estrategias de diseño y construcción de edificios sostenibles o protocolo LEED, debe ser incorporada la participación conjunta de todos los agentes que participan en el desarrollo de un proyecto y ejecución del mismo, incluyendo el propietario o promotor, los arquitectos, ingenieros, paisajistas, constructores, consultorías, etc.

La certificación LEED incentiva a las especialidades a implementar estrategias de eficiencia conjuntas en los edificios sostenibles para articular de mejor manera las metas u objetivos planteados y lograr así un mejor nivel de certificación.

El proceso de certificación LEED se realiza a través de consultores especializados LEED AP, LEED AP España, asesores LEED Accredited Professionals que actúan asesorando los proyectos y organismo facultado para otorgar la certificación LEED es el USGBC o U.S. Green Building Council de Estados Unidos.

Cualquier edificio, ya sea comercial, industrial, oficinas, o planificación urbana tal y como es definido por los códigos estándar de construcción de cada país, es elegible para la certificación. Las tipologías de construcción incluyen a todas oficinas, edificios institucionales, venta al por menor y establecimientos de servicios (bibliotecas, escuelas, museos e instituciones religiosas), Industriales, CPDs, logística, almacenes, hoteles y edificios residenciales unifamiliares y en altura,...[5]

2.2. Passivhaus

Por otro lado, los edificios Passivhaus son aquellos edificios en los que se alcanza, a lo largo de todo el

The LEED certification is based on the incorporation into the project of aspects related to [1]:

- The sustainable development of the free spaces of the plot.
- The efficiency of water consumption.
- The energy efficiency
- The use of alternative energies
- The improvement of the internal environmental quality.
- The selection of materials and waste management in construction.

LEED certification process, buildings with LEED certification in Spain:

To certify a LEED project the strategies of design and construction of sustainable buildings or LEED protocol, the joint participation of all the agents involved in the development of a project and its execution must be incorporated, including the owner or developer, the architects, engineers, landscapers, builders, consultancies, etc.

LEED certification encourages specialties to implement joint efficiency strategies in sustainable buildings in order to better articulate the goals or objectives set and achieve a better level of certification.

The LEED certification process is carried out through specialized consultants LEED AP, LEED AP Spain, LEED Accredited Professionals consultants who act as advisors on the projects and the body authorized to grant LEED certification is the USGBC or U.S. Green Building Council of the United States.

Any building, whether commercial, industrial, office, or urban planning as defined by the standard building codes of each country, is eligible for certification. The types of construction include all offices, institutional buildings, retail and service establishments (libraries, schools, museums and religious institutions), Industrial, CPDs, logistics, warehouses, hotels and single-family residential buildings and in height,...[5]

2.2. Passivhaus

On the other hand, Passivhaus buildings are those buildings in which indoor comfort conditions are achieved throughout the year with minimal energy expenditure. Passivhaus buildings must meet rigorous project requirements based on meticulous quality control in their design and execution.

In general, the Passive House Standard provides excellent profitability particularly in the case of new

año, unas condiciones interiores de confort con un gasto mínimo de energía. Los edificios Passivhaus deben cumplir rigurosos requerimientos del proyecto basándose en un minucioso control de calidad en su diseño y ejecución del mismo.

En general, el Estándar Casa Pasiva proporciona una excelente rentabilidad particularmente en el caso de edificios de nueva planta.

Si un edificio va a ser certificado por el Passive House Institute o uno de los certificadores acreditados por el mismo, la evaluación se llevará a cabo mediante una serie de "Reglamentos técnicos para la certificación del edificio". [6]

Anteriormente había tres documentos separados con los criterios del Estándar Casa Pasiva: para edificios de uso residencial, para edificios de uso no residencial y el Estándar EnerPHit para rehabilitaciones. Éstos ahora se han combinado en un solo documento y se ha completado con los criterios para el nuevo Estándar PHI Edificio de baja demanda energética [7]. Ya no existen documentos separados para edificios residenciales y no residenciales.

Pero para considerar un edificio Passive, deben cumplirse los siguientes criterios [8]:

- La demanda de energía de la calefacción no debe exceder los 15 kWh por metro cuadrado de espacio habitable neto (área de piso tratada) por año o 10 W por metro cuadrado de demanda máxima. En climas donde se necesita refrigeración activa, el requisito de Demanda de Energía de Refrigeración Espacial coincide aproximadamente con los requisitos de demanda de calor mencionados anteriormente, con un margen adicional para la deshumidificación.
- La demanda de energía primaria renovable (PER, según el método PHI) o la energía total que se utilizará para todas las aplicaciones domésticas (calefacción, agua caliente y electricidad doméstica) no debe superar los 60 kWh por metro cuadrado de superficie tratada por año.
- En términos de hermeticidad, se exige un máximo de 0.6 cambios de aire por hora a una presión de 50 Pascales (ACH50), como se verificó con una prueba de presión en el sitio (en los estados presurizados y despresurizados).
- El confort térmico debe cumplirse en todas las áreas de vivienda tanto en invierno como en verano, con no más del 10% de las horas en un año determinado, por encima de los 25 °C.

Los edificios de casas pasivas se planifican, optimizan y verifican con el paquete de planificación de casas pasivas (PHPP).

buildings.

If a building is going to be certified by the Passive House Institute or one of the certifiers accredited by it, the evaluation will be carried out through a series of "Technical Regulations for the certification of the building". [6]

Previously there were three separate documents with the Passive House Standard criteria: for buildings for residential use, for buildings for non-residential use and the EnerPHit Standard for renovations. These have now been combined into a single document and have been completed with the criteria for the new PHI Standard Building with low energy demand [7]. There are no longer separate documents for residential and non-residential buildings.

But to consider a Passive building, the following criteria must be met [8]:

- The heating energy demand must not exceed 15 kWh per square meter of net living space (treated floor area) per year or 10 W per square meter of maximum demand. In climates where active cooling is needed, the Spatial Cooling Energy Demand requirement roughly matches the heat demand requirements mentioned above, with an additional margin for dehumidification.
- The demand for renewable primary energy (PER, according to the PHI method) or the total energy that will be used for all domestic applications (heating, hot water and domestic electricity) must not exceed 60 kWh per square meter of surface treated per year.
- In terms of airtightness, a maximum of 0.6 air changes per hour is required at a pressure of 50 Pascals (ACH50), as verified by a pressure test at the site (in pressurized and depressurized states).
- The thermal comfort must be met in all housing areas both in winter and summer, with no more than 10% of the hours in a given year, above 25 °C.

Passive house buildings are planned, optimized and verified with the passive house planning package (PHPP).

All the above criteria are achieved through the intelligent design and implementation of the 5 principles of the Passive House: design without thermal bridge, upper windows, ventilation with heat recovery, quality insulation and hermetic construction (Fig.4)

Passive Classic, Plus or Premium categories can be achieved based on the demand for renewable primary energy (PER) and the generation of renewable energy.

Todos los criterios anteriores se logran a través del diseño inteligente y la implementación de los 5 principios de la Casa Pasiva: diseño sin puente térmico, ventanas superiores, ventilación con recuperación de calor, aislamiento de calidad y construcción hermética.(Fig.4)

Las categorías Casa Pasiva Classic, Plus o Premium pueden ser alcanzadas en función de la demanda de energía primaria renovable (PER) y de la generación de energía renovable.

Los requisitos y documentos que deben presentarse para justificar el certificado Passivhaus vienen mayoritariamente determinado por una tabla excel u hoja de cálculo del PHPP, mencionado anteriormente, donde se deben tener en cuenta un gran número de factores, límites y reglas que deben ser usadas de manera específica:

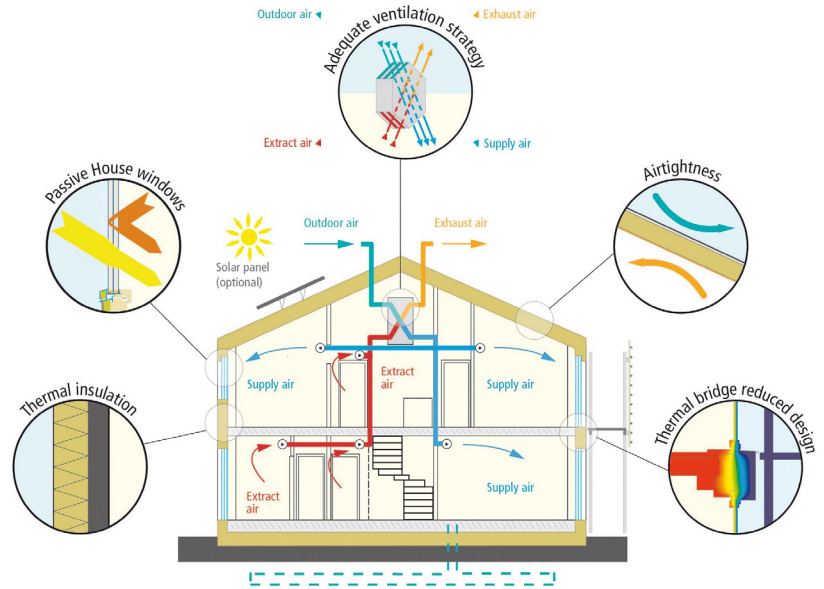


Figura 4. Gráfico sobre las características de una vivienda 'Passivhaus. Plataforma 'Passivhaus'.

The requirements and documents that must be presented to justify the Passivhaus certificate are mainly determined by an excel table or PHPP spreadsheet, mentioned above, where a large number of factors, limits and rules must be taken into account. Specific:

- Clima
- Valores "U" de los elementos constructivos
- Superficies
- Factores de reducción en elementos en contacto con el terreno
- Componentes constructivos
- Valores "U" de ventanas
- Sombreamiento
- Caudales de aire y rendimiento del recuperador de calor
- Resultado de un test de presurización
- Cálculo de la demanda de ACS y de las pérdidas del sistema de distribución de ACS y
- calefacción
- Cálculo de la demanda de energía para refrigeración y deshumidificación
- Cálculo de la demanda de calefacción y su carga en el edificio
- Contribución solar total a la producción de ACS

- Weather
- "U" values of the construction elements
- Surfaces
- Reduction factors in elements in contact with the ground
- Construction components
- "U" values of windows
- Shading
- Air flow and heat recovery performance
- Result of a pressurization test
- Calculation of the ACS demand and losses of the ACS distribution system and Heating
- Calculation of energy demand for cooling and dehumidification
- Calculation of heating demand and its load in the building
- Total solar contribution to the production of ACS

Estos serían los aspectos más importantes que deben incluirse en el excel de cálculo (existen más aspectos pero que pueden no proceder por distintas razones o no se consideran tan importantes). Además de esto, se debe realizar una comprobación de la hermeticidad de la envolvente, la regulación del sistema de ventilación y documentos del diseño, construcción e instalación técnica [10].

These would be the most important aspects that should be included in the calculation excel (there are more aspects but they may not proceed for different reasons or are not considered as important). In addition to this, a check of the hermeticity of the

3. Análisis de los casos de estudio

3.1. Torre Iberdrola

El edificio (Fig.5) se encuentra situado en el corazón de la ciudad de Bilbao (Plaza Euskadi), en un entorno urbano dotado de todos los servicios necesarios, incluida una amplia red de transporte público para acceder a él.



Figura 5.
Imagen de la Torre Iberdrola.

La torre de 165 metros de altura repartidos en 41 plantas y 50.000 m² [15], con forma de triángulo isósceles y los lados ligeramente curvos. Se estructura en tres zonas diferenciadas en altura. Una superior, destinada a las oficinas corporativas de Iberdrola (25% de la superficie total); una intermedia, destinada a oficinas en alquiler (75% de la superficie); y una inferior, destinada a cafetería, restaurante y centro de negocios [16]. A su vez la torre cuenta con cuatro plantas de instalaciones y varias plantas de aparcamiento.

Como ya se ha mencionado, el certificado LEED toma en cuenta 6 apartados para obtener los puntos que determinan el tipo de certificado que obtiene el edificio. En este caso, gracias a la página oficial de la marca [4] se han podido conseguir los resultados que obtuvo el edificio de la Torre de Iberdrola donde se ve una de las mayores ventajas de este edificio que es la cercanía y el alcance que tiene al transporte (sobre todo público) por su ubicación tan privilegiada en la ciudad. Sin embargo, sí que pueden observar ciertas estrategias e intenciones sostenibles y de confort. (Fig.6)

enclosure, the regulation of the ventilation system and documents of the design, construction and technical installation must be carried out.[10]

3. Analysis of the case studies

3.1. Iberdrola Tower

The building (Fig.5) is located in the heart of the city of Bilbao (Plaza Euskadi), in an urban environment equipped with all the necessary services, including a wide public transport network to access it.

The tower of 165 meters high spread over 41 floors and 50,000 m² [15], shaped like an isosceles triangle and slightly curved sides. It is structured in three zones differentiated in height. A superior one, destined to the corporate offices of Iberdrola (25% of the total surface); an intermediate, destined to rent offices (75% of the surface); and an inferior one, destined to cafeteria, restaurant and business center [16]. At the same time, the tower has four floors of facilities and several parking plants.

As already mentioned, the LEED certificate takes into account 6 sections to obtain the points that determine the type of certificate obtained by the building. In this case, thanks to the official website of the brand [4] it has been possible to obtain the results obtained by the building of the Iberdrola Tower, where one of the greatest advantages of this building is the closeness and reach it has. to transport (especially public) because of its privileged location in the city. However, they can observe certain strategies and sustainable intentions and comfort. (Fig.6)

In addition, some interesting points [11] that the tower shows is the air conditioning system designed to optimize the efficiency, flexibility and comfort of users. This is achieved thanks to the high rate of air supply of the external renovation for ventilation and the synergy with the architecture of the tower itself through active facade ventilation. In addition, inside each of the plants the air conditioning is distributed through a large number of independent units (VRV), which allows to have different temperatures in different points of the plant as well as an important energy saving. units located in areas of less use. With all this, savings in energy consumption of around 20% are obtained. However, it is very likely that this need to install such mechanical systems to produce an "artificial" comfort is the cause of the little awareness of the climate of Bilbao and the possible climate strategies in it such as: good shading and a gain controlled passive solar.

In essence it is observed that most of the points obtained from the tower lies in its strategic location in the city of Bilbao because of the different services and nearby buildings as can be seen in Fig. 1. In other aspects such as: materials and resources or energy issues, the score is not as good or has been limited

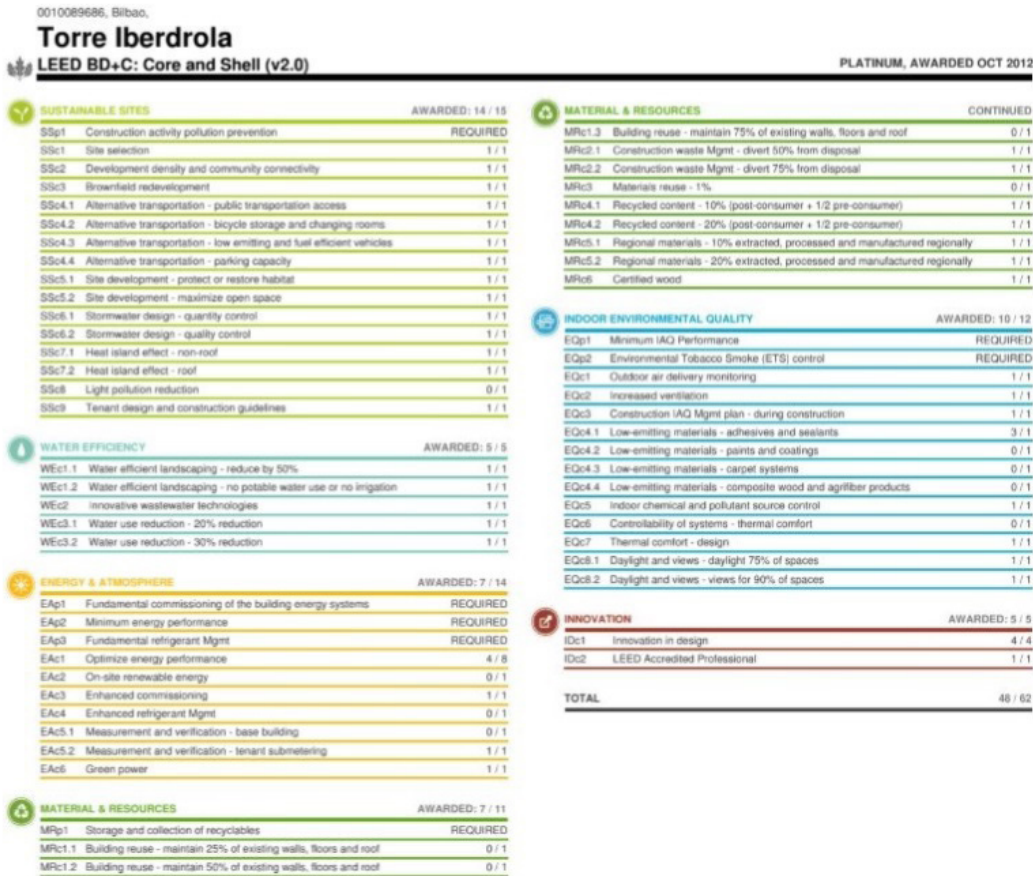


Figura 6. Puntuación recibida para calificación LEED Platinum de la Torre Iberdrola.[3]

Además, algunos puntos interesantes [11] que muestra la torre es el sistema de climatización diseñado para optimizar la eficiencia, flexibilidad y confort de los usuarios. Esto se consigue gracias a la alta tasa de aporte de aire de la renovación exterior para ventilación y a la sinergia con la arquitectura de la propia torre mediante la ventilación por fachada activa. Además, en el interior de cada una de las plantas la climatización se distribuye a través de un gran número de unidades independientes (VRV), lo cual permite disponer de diferentes temperaturas en distintos puntos de la planta así como un importante ahorro energético pudiendo apagar aquellas unidades ubicadas en zonas de menor uso. Con todo ello se obtienen unos ahorros en los consumos energéticos en torno al 20%. Sin embargo, es muy probable que esta necesidad de instalación de dichos sistemas mecánicos para producir un confort "artificial" sea causa de la poca consciencia sobre el clima de Bilbao y las estrategias climáticas posibles en la misma como: un buen sombreado y una ganancia solar pasiva controlada.

En esencia se observa que la mayoría de los puntos obtenidos de la torre radica en su ubicación estratégica de la ciudad de Bilbao a causa de los diferentes servicios y edificios cercanos como se puede ver en la Fig. 1. En otros aspectos tales como: materiales y recursos o temas energéticos, la puntuación no es tan buena o se ha limitado a cumplir con los míni-

to meet the established minimums. This result raises doubts about true sustainability [12]. of the tower and therefore, if it had been placed in another point of the same city, the score would have been completely different and in that case it would not result in such a sustainable building. In essence, everything comes because of a strategy of scoring and optimization based on: "the least possible effort with the best score" and letting pass aspects that may be important but are not so rewarded in the LEED rating system.

3.2. Bolueta Towers

Bolueta's project (Fig.7) includes innovative elements [18] that guarantee "almost nil" energy consumption, thanks to its almost hermetic envelope that allows reducing the demand for air conditioning up to 75% and meets the requirements of the demanding standard German, as the project, as we have mentioned, meets the specifications of the Passivhaus in order to be certified. Each floor [19] has its own air renewal system that guarantees zero odors, that is, a double-flow ventilation system that evacuates stale air from the houses by changing it for outside air, not first heating it for areas such as bedrooms [13]. Doubtful assertion, because it even lacks an extractor hood in a completely hermetic environment and still closed with this renovation system.

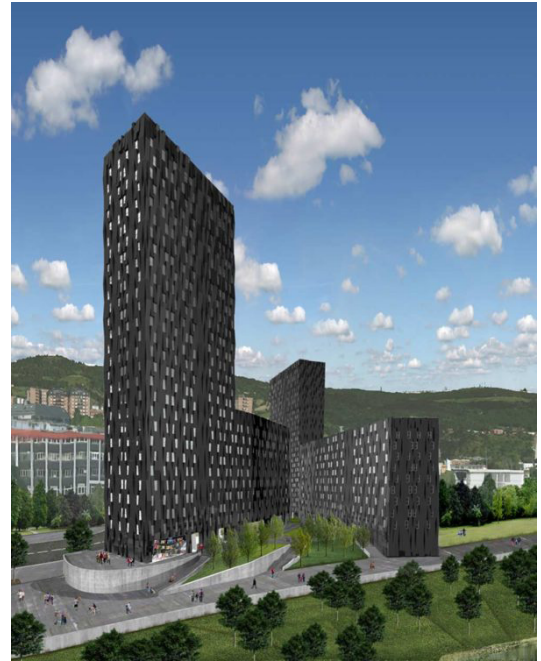
mos establecidos. Este resultado hace dudar sobre la verdadera sostenibilidad [12] de la torre y por tanto, si se hubiese colocado en otro punto de la misma ciudad, la puntuación hubiese sido completamente diferente y en tal caso no resultaría un edificio tan sostenible. En esencia, todo viene debido a una estrategia de puntuación y optimización con base: "el menor esfuerzo posible con la mejor puntuación" y dejando pasar aspectos que quizá sean importantes pero que no resultan tan recompensados en el sistema de calificación LEED.

3.2. Torres de Bolueta

El proyecto de Bolueta (Fig.7) incluye elementos innovadores [18] que garantizan el consumo energético "casi nulo", gracias a su envolvente prácticamente hermética que permite reducir hasta un 75% la demanda de climatización y cumple con los requisitos del exigente estándar alemán, pues el proyecto, como hemos mencionado, cumple con las especificaciones del Passivhaus para poder certificarse. Cada piso [19] cuenta con un sistema propio de renovación del aire que garantiza cero olores, es decir, un sistema de ventilación de doble flujo que evacúa el aire viciado de las viviendas cambiándolo por aire exterior, no sin calentarlo primero para zonas como los dormitorios [13]. Afirmación dudosa, pues carece incluso de campana extractora en un ambiente completamente hermético y cerrado aún con dicho sistema de renovación.

Hay varias cuestiones a destacar de este proyecto, que lo convierten en un ejemplo de sostenibilidad a nivel mundial:

- **Construcción tradicional:** Es un aspecto realmente destacable, el edificio se ha construido con técnicas constructivas y materiales convencionales como el hormigón para la estructura, ladrillo, yeso, etc. Era una premisa el poder utilizar los mismos materiales que se utilizan habitualmente por parte de la administración.
- **Passivhaus XXL:** Su escala ha hecho que se hayan tenido que replantear muchas cuestiones constructivas, para poder hacerlo viable en un edificio de este tamaño. Ha habido momentos en los que había más de 125 personas trabajando simultáneamente en la obra, ha sido vital una gran organización por parte de la empresa constructora, Sukia, y la Dirección Facultativa, Visesa.
- **Vivienda Social:** No hay tipología en la que tenga más sentido mejorar la construcción para poder alcanzar la categoría de edificio pasivo o de consumo casi nulo. De este modo se evitarán situaciones de pobreza energética, manteniendo el máximo confort interior, y minimizando el mantenimiento post venta.
- **Low cost:** El presupuesto está dentro de los pará-



There are several issues to highlight in this project, which make it an example of global sustainability:

- **Traditional construction:** It is a really remarkable aspect, the building has been built with construction techniques and conventional materials such as concrete for the structure, brick, plaster, etc. It was a premise to be able to use the same materials that are commonly used by the administration.
- **Passivhaus XXL:** Its scale has meant that many constructive issues have had to be reconsidered, in order to make it viable in a building of this size. There have been times when there were more than 125 people working simultaneously in the work, a great organization by the construction company, Sukia, and the Facultative Directorate, Visesa, has been vital.
- **Social Housing:** There is no typology in which it makes more sense to improve construction in order to achieve the category of passive building or almost zero consumption. This will avoid energy poverty situations, maintaining maximum interior comfort, and minimizing after sales maintenance.
- **Low cost:** The budget is within the parameters established by the Basque Government for VPO construction costs. It has been necessary a deep study of all the solutions and materials to obtain the maximum benefits, maintaining the best durability without an extra cost.

The idea of this project has been to be the example to follow, because if it has been possible with these premises, we have the certainty that any project de-

Figura 7.
Modelo 3D de las Torres de Bolueta. Varquitectos.

metros establecidos por el Gobierno Vasco para costo de construcción VPO. Ha sido preciso un profundo estudio de todas las soluciones y materiales para obtener las máximas prestaciones, manteniendo la mejor durabilidad sin un sobre-coste.

La idea de este proyecto ha sido ser un ejemplo a seguir, pues si se ha podido con estas premisas, se tiene la certeza de que cualquier proyecto desarrollándose correctamente podrá alcanzar las exigencias necesarias para ser considerado pasivo o de consumo casi nulo.

Las torres de Bolueta [17] se han tratado ejemplo perfectamente exportable, puesto que no cuenta con un presupuesto elevado, ni una construcción compleja. Se promulga que estas son las grandes ventajas para que en cualquier parte del mundo, adaptándose a las condiciones de cada país, se pueda plantear un edificio Passivhaus sea la tipología que sea.

Sin embargo, como se dice en la Tesis Doctoral de Iñigo Rodríguez Vidal "EVALUACIÓN DEL ESTÁNDAR DE CONSTRUCCIÓN PASSIVHAUS Y SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO CLIMÁTICO DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA VASCA Y LA COMUNIDAD FORAL NAVARRA [9]. El caso de la vivienda colectiva de protección oficial", en una vivienda colectiva puede sufrir mayores periodos de sobrecalentamiento debido a su menor capacidad para evacuar el calor y a los entornos urbanos en los que se encuentra, en los que se producen con mayor frecuencia fenómenos de islas de calor y la ventilación natural se ve dificultada por la contaminación y el ruido. Además se menciona que las viviendas Passivhaus y super aisladas tienen riesgos de sobrecalentamiento sobretodo en el Reino Unido, Irlanda y Norte de Europa con climas similares al de Bilbao. ¿Es por tanto viable la exportación de estos criterios Passivhaus a otros países de climas dispares en una escala tan abrumadora?

4. Conclusión

A primera vista es destacable la diferencia entre ambos edificios, sobre todo en cuanto al método constructivo y acabados de fachada, por ello surgen directamente las siguientes preguntas: ¿Por qué dos torres tan distintas en el mismo lugar? y, ¿cuál es mejor?

Son soluciones muy antagónicas en edificios muy similares, pero la respuesta a la pregunta de cuál es mejor es relativa. Esto se debe a que, por un lado, la Torre Iberdrola, presenta algunos problemas según afirman los usuarios, aunque esta sigue siendo eficaz. Por otro lado, las Torres de Bolueta quizá son una exageración en relación al aislamiento necesario en lugares como Bilbao, incluida la excesiva hermeticidad para un edificio tan grande.

En los puntos anteriores se han expuesto las diversas

Tabla 1 Criterios Casa Pasiva

		Criterios ¹			Criterios alternativos ²
Calefacción					
Demanda de calefacción [kWh/(m²a)]	≤	15			-
Carga de calefacción ³ [W/m²]	≤	-			10
Refrigeración					
Demanda refrigeración + deshum. [kWh/(m²a)]	≤	15 + contribución deshumidificación ⁴			valor límite variable ⁵
Carga de refrigeración ⁶ [W/m²]	≤	-			10
Hermeticidad					
Resultado ensayo de presión n ₅₀ [1/h]	≤	0,6			
Energía Primaria Renovable (PER)⁷					
		Classic	Plus	Premium	
Demanda PER ⁸ [kWh/(m²a)]	≤	60	45	30	±15 kWh/(m²a) desviación respecto a los criterios... ...con compensación de la desviación mostrada arriba mediante diferentes valores de generación
Generación de energía renovable ⁹ (con referencia a la huella proyectada del edificio) [kWh/(m²a)]	≥	-	60	120	

Figura 8.

Tabla de criterios básicos para casas Pasiva. Passivehaus institute. Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética.[7] - Basic criteria table for Passive houses. Passivehaus institute. Criteria for the Passive House, EnerPHit and PHI Standards Building with low energy demand[7].

veloping correctly will be able to reach the necessary requirements to be considered passive or almost zero consumption.

The Bolueta Towers [17] have been treated as a perfectly exportable example, since it does not have a high budget, nor a complex construction. It is promulgated that these are the great advantages so that in any part of the world, adapting to the conditions of each country, a Passivhaus building can be considered whatever the type.

However, as stated in the Doctoral Thesis of Iñigo Rodríguez Vidal "EVALUATION OF THE PASSIVHAUS CONSTRUCTION STANDARD AND ITS APPLICATION IN THE CLIMATE AREA OF THE BASQUE AUTONOMOUS COMMUNITY AND THE FORAL NAVARRA COMMUNITY [9]. The case of collective protection housing "In a collective dwelling, it can suffer greater periods of overheating due to its lower capacity to evacuate the heat and the urban environments in which it is located, where heat island phenomena occur most frequently and natural ventilation occurs. is hindered by pollution and noise. It is also mentioned that Passivhaus and super isolated homes have risks of overheating especially in the United Kingdom, Ireland and Northern Europe with climates similar to that of Bilbao. Is it therefore viable to export these Passivhaus criteria to other countries with disparate climates on such an overwhelming scale?

4. Conclusion

At first sight, the difference between both buildings is remarkable, especially in terms of the construction method and facade finishes, so the following questions arise directly: Why two so different towers in the same place? and which one is better?

They are very antagonistic solutions in very similar buildings, but the answer to the question of which one is better is relative. This is due to the fact that, on the one hand, the Iberdrola Tower presents some problems according to the users, although this is still effective. On the other hand, the Towers of Bolueta are perhaps an exaggeration in relation to the necessary insulation in places like Bilbao, including exces-

características de ambos edificios. Tanto una como otra son torres situadas en el municipio de Bilbao y ambas responden a ciertos aspectos sostenibles, hecho por el que han recibido una certificación acorde a ello. La mayor premisa de esta comparación será deducir los diversos aspectos que se han tratado en estos edificios para que uno consiga la certificación LEED y el otro el certificado pasivo.

Primeramente, el certificado LEED trata diversos aspectos que han sido expuestos en puntos anteriores, los cuales abordan el concepto de sostenibilidad. LEED se centra principalmente en la relación que tiene el edificio en el entorno y el aprovechamiento de materiales y energías. Son puntos importantes y el certificado da un grado de prestigio al edificio, pero es por ello que, en lugar de buscar un edificio realmente sostenible, se intentan realizar trucos o estrategias de evasión para poder ostentar el sello con el menor esfuerzo posible sin interiorizar en aspectos más complicados de la sostenibilidad. La Torre Iberdrola obtiene su puntuación principalmente a través de aspectos como

la utilización de materiales reciclados y materiales locales, la innovación en diseño, una buena situación urbana con comunicaciones públicas cerca de su entorno. Sin embargo, no se presta tanta atención a la energía, la reutilización de elementos constructivos y el uso de materiales de baja emisión, etc.

Durante su uso cúspide en épocas frías, aprovechando la mayor aportación solar a través de su muro cortina situado en todo su perímetro de fachada pero, ¿qué pasa en verano y como evitamos el exceso de soleamiento y el efecto invernadero que se producen en el interior?. Por tanto, también se podría debatir que si su uso es máximo en épocas frías, ¿por qué se utiliza el vidrio cuando 5 cm de aislamiento consigue el mismo aislamiento que los vidrios dobles de gas argón, muchos más caros que un aislamiento estándar?, pues se sabe que la sensación de confort de una persona varía en la posición en la que se encuentra dentro de un mismo edificio, siendo la zona de la fachada la más fría y conflictiva. La solución que se presenta para estos problemas al igual que en otros precedentes como las torres Isozaki y la BBVA, que disponen del mismo modo de una cortina de vidrio, es a costa de una calefacción probablemente excesiva para contrarrestar la sensación y temperatura fría. Pero así surge otra cuestión, si no necesitamos inercia debido al uso intermitente de oficinas, con calefacción instantánea más puntual aún conseguimos un confort que se pierde por el vidrio tras su uso espontáneo. Esto es lo que produce el debate que incumbe al uso excesivo del vidrio a cambio de otro uso excesivo de calefacción, pero que por el uso intermitente permite esta estrategia de uso puntual, pero ¿justifica esto la indiferencia ante un mayor aprovechamiento o conseguir menos pérdidas en fachada de forma más eficiente y no tan cara?

sive tightness for such a large building.

In the previous points the different characteristics of both buildings have been exposed. Both one and the other are towers located in the municipality of Bilbao and both respond to certain sustainable aspects, which is why they have received a certification accordingly. The main premise of this comparison will be to deduce the various aspects that have been treated in these buildings so that one obtains the LEED certification and the other the passive certificate.

First, the LEED certificate addresses various aspects that have been presented in previous points, which address the concept of sustainability. LEED focuses mainly on the relationship that the building has in the environment and the use of materials and energy. They are important points and the certificate gives a prestige degree to the building, but that is why instead of looking for a really sustainable building, attempts are made to avoid tricks or evasion strategies to be able to hold the seal with the least possible effort without internalizing aspects more complicated sustainability. The Iberdrola Tower obtains its score mainly through aspects such as the use of recycled materials and local materials, innovation in design, a good urban situation with public communications near its surroundings. However, not much attention is paid to energy, the reuse of construction elements and the use of low emission materials, etc.

During its peak use in cold times, taking advantage of the greatest solar contribution through its curtain wall located throughout its perimeter of the facade but, what happens in summer and how do we avoid excessive sunning and the greenhouse effect that occur inside? Therefore, it could also be debated that if its use is maximum in cold times, why is glass used when 5 cm of insulation achieves the same insulation as double argon gas glasses, much more expensive than a standard insulation?, because it is known that the feeling of comfort of a person varies in the position in which they are inside the same building, the area of the facade being the coldest and most conflictive. The solution presented for these problems, as in other precedents such as the Isozaki and BBVA towers, which have a glass curtain in the same way, is at the cost of probably excessive heating to counteract the sensation and cold temperature. But so another question arises, if we do not need inertia due to the intermittent use of offices, with more timely instant heating we still get a comfort that is lost by the glass after its spontaneous use. This is what produces the debate that concerns the excessive use of the glass in exchange for another excessive use of heating, but that by the intermittent use allows this strategy of punctual use, but does this justify the indifference to a greater use or to achieve less losses in facade more efficiently and not so expensive?

En definitiva, Iberdrola consigue alrededor de 15 puntos "extra" que no hubiera obtenido en su certificado LEED si se situara en cualquier otro lugar. Por ello, surgen dudas de si situado en otros emplazamientos el mismo edificio sería tan "sostenible" como afirman que es.

Por otro lado, lo que busca una edificación Passivhaus es crear un alto grado de confort interno. Para ello utiliza ciertos aspectos mencionados anteriormente, como un sistema de ventilación cruzada sin necesidad de abrir ventanas o una buena capa de aislamiento que recubra todo el edificio. Esto consigue grandes prestaciones internas, pero no tiene en cuenta otros aspectos más allá del edificio para conseguir la sostenibilidad.

La primera impresión de la estrategia de Passivhaus en Bolueta no es tan equívoca, pero ¿se tiene en cuenta que con inercia térmica adquirida con el aislamiento solo se abarca un 2,5% del confort en Bilbao según el diagrama psicrométrico? Es decir, que quizá no merece la pena un exceso de aislamiento, pues el coste y producción de estos es grande para el poco rendimiento que producen al llegar a cierto espesor. Lo mismo ocurre con la hermeticidad del edificio; en un edificio tan grande, para conseguir tales puntos de renovaciones hora, es casi inconcebible, cuando una ventilación natural puede solucionar aspectos como un ambiente y aire más limpio y renovaciones más naturales que con una ventilación mecánica y un aislamiento excesivo, que aísla completamente del exterior añadiendo además el uso quizá equivocado del color (negro) haciendo que la absorción de calor en verano puede llegar a ser excesiva e incómoda con dificultad de enfriamiento para su sistema completamente hermético y aislado. Tales son los extremos, que se eliminan las campanas extractoras porque dificultan el flujo de aire interior. ¿Es seguro que esto es más salubre y confortable?, veremos lo que los inquilinos tienen que decir al respecto.

De este modo, se pone en duda el sistema de cálculo utilizado (PPTP) que solventa y proporciona los valores necesarios para este certificado, ya que este podría no estar correctamente regulado debido a los resultados obtenidos para Bolueta, que podrían considerarse excesivos para muchos profesionales. Por tanto, se debería someter a algún tipo de revisión o corrección para una mayor efectividad en la conversión y conseguir un sistema completamente regulable y efectivo para cualquier lugar. También, así se trata de generar un debate a través de los edificios construidos e incitar a una reflexión que lleve al perfeccionamiento y mejora de las construcciones futuras.

Como podemos comprobar, los certificados abarcan muchos aspectos importantes de un edificio sostenible, cada uno con sus puntos fuertes y débiles. Pero por estas cuestiones planteadas, se pone en duda la veracidad de estos sellos sostenibles y tantos otros

In short, Iberdrola gets around 15 "extra" points that it would not have obtained in its LEED certificate if it were located anywhere else. Therefore, doubts arise as to whether located in other locations the same building would be as "sustainable" as they claim it is.

On the other hand, what a Passivhaus building is looking for is to create a high degree of internal comfort. To do this, it uses certain aspects mentioned above, such as a cross ventilation system without opening windows or a good insulation layer that covers the entire building. This achieves great internal benefits, but does not take into account other aspects beyond the building to achieve sustainability.

The first impression of the Passivhaus strategy in Bolueta is not so equivocal, but is it taken into account that with thermal inertia acquired with insulation, only 2.5% of comfort is covered in Bilbao according to the psychrometric diagram? That is to say, that perhaps it is not worth an excess of isolation, because the cost and production of these is great for the little yield that they produce when they reach a certain thickness. The same goes for the tightness of the building; in such a large building, to get such points of renovations time, it is almost inconceivable, when a natural ventilation can solve aspects such as a cleaner environment and air and more natural renovations than with mechanical ventilation and excessive insulation, which completely isolates the outside also adding the perhaps wrong use of color (black) making heat absorption in summer can become excessive and uncomfortable with cooling difficulty for your completely hermetic and insulated system. Such are the extremes, which extract hoods are eliminated because they hinder the flow of indoor air. Is it certain that this is healthier and more comfortable? We will see what the tenants have to say about it.

In this way, the calculation system used (PPTP) that solves and provides the necessary values for this certificate is questioned, since this could not be properly regulated due to the results obtained for Bolueta, which could be considered excessive for many professionals. Therefore, it should undergo some kind of revision or correction for greater conversion effectiveness and achieve a fully adjustable and effective system for any place. Also, this is about generating a debate through the buildings constructed and inciting a reflection that leads to the improvement and improvement of future constructions.

As we can see, the certificates cover many important aspects of a sustainable building, each with its strengths and weaknesses. But for these questions raised, the veracity of these sustainable seals and many others that give popularity to the city but that do not condition the sustainability of the building that owns them is questioned.

que dan renombre a la ciudad pero que no condicionan la sostenibilidad del edificio que los posee.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Spain Green building Council, LEED v4 BD+C: Diseño y Construcción de Edificios (D+CE). Disponible Online: <http://www.spaingbc.org/files/LEED%20v4%20BD+C%20ESP.pdf>
- [2] Spain Green Council, Spain GBC. LEED, Visión general de la guía de referencia para diseño y construcción de edificios. Disponible Online: <http://www.spaingbc.org/files/Vision%20General%20Guia%20Referencia%20BDC%20v4.pdf>
- [3] Puntuación Torre Iberdrola. LEED BD+C: Core and Shell (v2.0). LEED Scorecard. Disponible Online: <https://www.usgbc.org/projects/torre-iberdrola?view=overview>
- [4] LEED Scorecard. Disponible Online: <https://www.usgbc.org/drupal/legacy/usgbc/docs/Archive/CertifiedProjects/Docs4745.pdf>
- [5] Spain Green building Council, LEED v4 BD+C: Diseño y Construcción de Edificios (D+CE). GUÍAS DE CERTIFICACIÓN Y TARIFAS. Disponible Online: <http://www.spaingbc.org/web/leedv4-bd+c.php>
- [6] PassivHaus Institute. Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética. Disponible Online: <http://plataforma-pep.s3.amazonaws.com/documents/documents/000/000/004/original/ph-criterios-esp.pdf>
- [7] PassivHaus Institute. Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética. Disponible Online : https://passipedia.org/_media/picopen/9f_160815_phi_criterios_edificios_es.pdf
- [8] Plataforma Edificios Passivhaus. Disponible Online: <http://www.plataforma-pep.org/estandar/certificacion>
- [9] Tesis Doctoral Iñigo Rodríguez Vidal 11/2015. Evaluación del estándar de construcción Passivhaus y su aplicación en el ámbito climático de la Comunidad Autónoma Vasca y la Comunidad Foral Navarra. El caso de la vivienda colectiva de protección oficial. Disponible Online: <https://addi.ehu.es/handle/10810/17870>
- [10] Energiehaus. Edificios Pasivos. Funcionamiento de una Passivhaus. Disponible Online: <http://www.energiehaus.es/passivhaus/funcionamiento-una-passivhaus/>
- [11] Iberdrola. Máxima calificación de la certificación de sostenibilidad LEED. Disponible Online: <https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/la-torre-iberdrola-logra-la-maxima-calificacion-de-la-certificacion-en-sostenibilidad-leed-cs-2-0-9730514120121130>
- [12] Torre Iberdrola. Sostenibilidad de la Torre Iberdrola. Disponible Online: <http://www.torreiberdrola.es/sostenibilidad/>
- [13] Promociones Neinor Homes. Promoción de Bolueta Homes Bilbao. Características. Disponible Online: <https://promociones.neinorhomes.com/bolueta-homes/>
- [14] Varquitectos. Comunicaciones sobre sus obras. Comunicaciones de las Torres de Bolueta. Disponible Online: <http://varquitectos.com/comunicaciones/>
- [15] Torre Iberdrola Bilbao. Folleto informativo del edificio. Disponible Online: <http://www.torreiberdrola.es/wp-content/uploads/2017/02/Dossier-Torre-Iberdrola-Bilbao-v2.pdf>
- [16] Revista Promateriales N°48. Artículo sobre la Torre Iberdrola. Disponible Online: <https://promateriales.com/pdf/pm4803.pdf>
- [17] Neinor Homes. Memoria de Calidades de las Torres de Bolueta. Disponible Online: https://promociones.neinorhomes.com/wp-content/uploads/2018/05/2018.05.04_DGN_2912_MEMORIA MAQUETADA_VF.13.pdf
- [18] Premios de arquitectura. Documentación gráfica de las Torres de Bolueta. Disponible Online: <https://www.premiosdearquitectura.es/es/premios/38-premios-avs-2018/obras-presentadas/814-361-bolueta-108-vpo-63-vs-en-bolueta>
- [19] Documentación Técnica de las Torres de Bolueta. Propuestas, correcciones y mejoras. Disponible Online: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/14978/Bolueta+TOT.pdf;jsessionid=03E8AF51151385C23DA9B88D5AE76EAC?sequence=1>

URBIM: ciudades digitales. BIM en intervenciones y análisis urbanos

URBIM: digital cities. BIM in urban interventions

María Pascual-Sáez¹, Irene Ibisate-Domínguez²

ABSTRACT

A mediados de 2017 surge el proyecto de Digitalización de Ayacucho (Perú) como una apuesta por parte del cliente por poner en valor su ciudad natal. Dicho proyecto nace con la firme convicción de que será el detonante para la dinamización del turismo de la ciudad, así como la puesta en valor del patrimonio de esta zona de Huamanga (dos años después ha aumentado un 40% y posee varios vuelos diarios).

Ayacucho es denominada la "ciudad de las iglesias", ya sólo en la zona de actuación se encuentran 33 junto a varias casonas de alto valor histórico y patrimonial.

El proyecto surge como centralizador de la información que en esos momentos estaba disgregada en varias bases de datos, así como una forma de crear por parte de unas entidades privadas la que será la semilla para establecer normas urbanísticas y criterios que ayuden a recuperar la imagen colonial que Ayacucho tuvo hace varios siglos.

Por otra parte al hablar de Smartcities, IoT y Big Data estamos hablando de gestión eficiente de los datos de una ciudad. Son muchos los agentes intervinientes a escala urbana, muchos los objetivos a lograr y una información diversificada a utilizar. Con herramientas BIM podemos clasificar, información diversa, creando modelos inteligentes en plataformas colaborativas, permitiendo mejorar la gestión de la estructura urbana, creando bases de datos actualizadas a lo largo del ciclo de vida de un elemento.

El desarrollo del proyecto tuvo dos puntos importantes, por una parte la toma de datos inicial muy precisa, creando una base del estado actual rigurosa que, basa en procesamientos de nube de puntos y la creación de un catálogo urbano en BIM de los elementos de la ciudad, y por otra la identificación los parámetros necesarios para crear un catastro digital como punto de partida.

Aplicando el desarrollo digital a la extensión de una ciudad construida, podemos denominarla ciudad digital, y abarcar una amplia gama de enfoques e iniciativas tecnológicas para desarrollar un mundo virtual que reflejen el mundo real formando la base de las Smartcities (a este proceso lo llamaremos URBIM), llevando las estrategias y metodologías implantadas en los proyectos BIM al levantamiento de la Realidad Urbana.

Beneficios como el diseño eficiente de las infraestructuras, mantenimiento centralizado, creación de una nueva base para el crecimiento económico y el bienestar social, basado en análisis de simulaciones y estrategias virtuales que definan un desarrollo con evidencias y datos contrastados.

Ahora el proyecto ha crecido, las necesidades que vemos que se pueden cubrir han hecho que pensemos en sensórica, en gestión e integración de datos mucho más allá de los catastrales. GIS, IoT, Blockchain...son términos que se unen al de digitalización, haciendo que este proyecto que se dio por terminado sea el germen de un proyecto mucho más grande.

Concebir el modelo digital como aglutinador de información que nos permita establecer todos los datos necesarios para hacer una correcta toma de decisiones que afecten a infraestructuras, usos, seguridad, optimizaciones edificatorias, normativa...

Key Words: URBIM, Sensórica, BIM, Nubes de puntos, Ciudad digital

(1) Bim Director, Calle Caléndula 95 -Edificio N, cp. 28109, Alcobendas, +34 649555254, mariapascual@c95creative.com (2) Architect, Calle Caléndula 95 -Edificio N, cp. 28109, Alcobendas

1. Introducción

A mediados del año 2017 surge la oportunidad de generar un modelo digital de la ciudad de Ayacucho, en Perú. Con el conocimiento que habíamos adquirido en los últimos 5 años de trabajo en BIM (Building Information Modeling) y escaneado de nubes de puntos sabíamos que un gemelo digital que quisiéramos utilizar en un futuro debía pasar por la combinación de ambas, metodología y tecnología. Este levantamiento nace con dos pilares firmes sobre los que deberá apoyarse, la necesidad de actualizar información urbana y dar valor al patrimonio histórico, que tendrá como consecuencia crear una estrategia para regenerar el casco histórico y llevar a cabo distintas intervenciones urbanas de mejora.

Este era el objetivo inicial, pero durante todo este proceso han sido muchos los usos asociados y los cambios en la forma de trabajar para alcanzar esos nuevos objetivos.

Durante el tiempo que duró el proyecto, tal y como se puede observar en la comunicación presentada en EUBIM 2018, con el mismo título, se marcan tres necesidades que para el desarrollo del proyecto son obligatorias, para dar por finalizado con éxito el proyecto.

“La primera son aquellas que se consideran tendrán un impacto científico-técnico. Para ello se establece un catálogo de elementos urbanos normalizado, con los parámetros que dan identidad al conjunto, ayudando a la optimización del proceso de digitalización, con información clasificada, apoyada en las imágenes de las estaciones escáner que dan valor al patrimonio.

Se enlaza la información recogida en el catastro al modelo BIM, actualizándolo y completándolo con la normativa, planes de protección e intervención en sus edificios singulares.”

La segunda son aquellas que provoquen algún impacto social. “Tras un estudio pormenorizado del estado actual de la ciudad, se planifican distintos proyectos de desarrollo de recuperación y mejora del espacio urbano, rehabilitación de edificios singulares y puesta en valor de bienes culturales.

Se crean recorridos en modelos virtuales de los espacios proyectados, videos 360 con las imágenes tomadas, haciendo partícipe al ciudadano de la remodelación de la ciudad y creando consciencia del valor patrimonial de la misma.

La información y geometría creada virtualmente, será base de apoyo para distintas plataformas turísticas que se están desarrollando actualmente y se alimentaran de forma bidireccional en el modelo. Sirviendo además de intercambio, con plataformas de seguridad, optimizando la geolocalización y gestión de esta.”

Y el tercera área de impacto es la parte económica,

1. Introduction

At the beginning of 2017 the opportunity arises to generate a digital model of the city of Ayacucho, in Peru. With the knowledge that we had acquired in the last 5 years of work in BIM (Building Information Modeling) and scanning of point clouds, we knew that a digital twin that we wanted to use in the future had to go through the combination of both methodology and technology. This survey was born with two firm pillars on which it should be based, the need to update urban information and give value to historical heritage, which will result in creating a strategy to regenerate the historic center and carry out various urban improvement interventions.

This was the initial objective, but throughout this process there have been many associated uses and changes in the way of working to achieve these new objectives.

During the time the project lasted, as can be seen in the communication presented in EUBIM 2018, with the same title, there are three needs that are mandatory for the development of the project, to successfully complete the project.

“The first are those that are considered to have a scientific-technical impact. To this end, a standardised catalogue of urban elements is established, with the parameters that give identity to the whole, helping to optimise the digitisation process, with classified information, supported by the images of the scanning stations that give value to the heritage.

The information collected in the cadastre is linked to the BIM model, updating it and completing it with the regulations, protection plans and intervention in its singular buildings”.

The second is those that cause some social impact. “After a detailed study of the current state of the city, different development projects are planned for the recovery and improvement of the urban space, the rehabilitation of singular buildings and the enhancement of cultural assets.

Routes are created in virtual models of the projected spaces, 360 videos with the images taken, involving the citizen in the remodelling of the city and creating awareness of its heritage value.

The information and geometry created virtually will be the support base for different tourist platforms that are currently being developed and will be fed bi-directionally into the model. It will also serve as an exchange, with security platforms, optimizing the geolocation and management of this.”

And the third area of impact is the economic part, related to an urban remodeling, the valuation of the heritage and the development of different mobile applications that give Ayacucho a new tourist value.

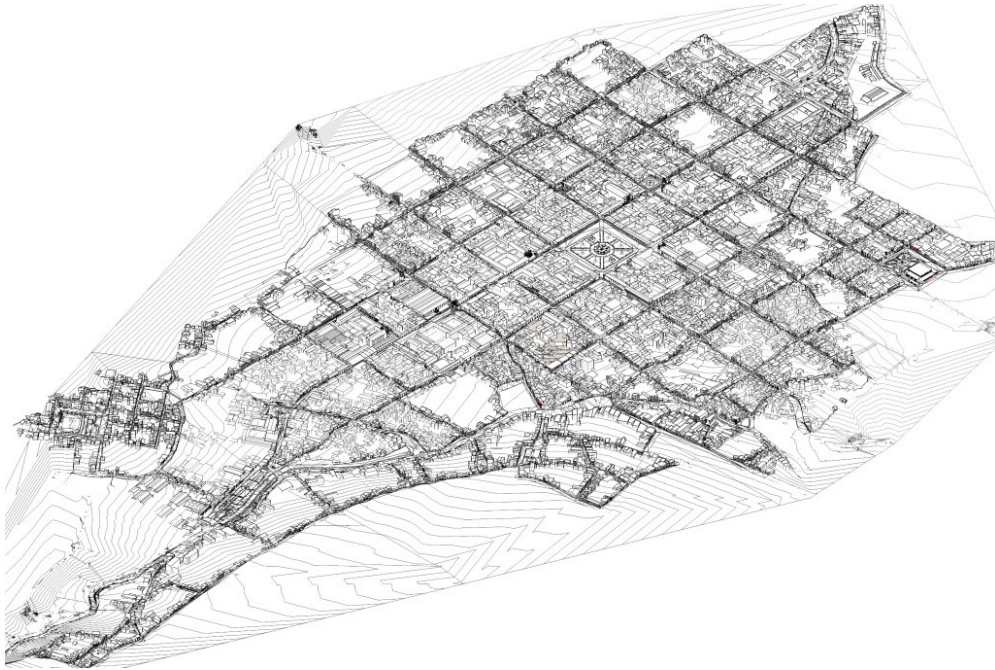


Figura 1.
Modelado BIM Ayacucho.
Fuente propia (2017).

relacionada con una remodelación urbana, a valoración del patrimonio y el desarrollo de distintas aplicaciones móviles que dan a Ayacucho un nuevo valor turístico.

“Se aprovecha el modelo, para crear distintas simulaciones de análisis de opciones más eficientes de intervención urbana, estudiando la repercusión en el tráfico por cortes de calles en obras, sostenibilidad en la intervención de fachadas y el impacto de los nuevos elementos urbanos.

Se crea además un sistema de mantenimiento en el patrimonio intervenido y se aprovecha el modelo BIM para planificación, mejorando el control de costes y plazos a la administración.”

En ese momento se consideran diferentes vías para la toma de datos, pero sólo nos parece compatible con la idea de proyecto la captura por nubes de puntos, por varias razones. La primera de todas es la precisión en los datos obtenidos, la unificación en un único banco de datos de todas las necesidades, la generación de un punto histórico de toma de datos, la imposibilidad de estar constantemente yendo a tomar datos por su ubicación con respecto al estudio y finalmente la magnitud del proyecto (154 manzanas, equivalentes a 229.36ha y 41km de vías públicas).

De entre todas las opciones que existen en el mercado se cree necesario combinar 3 para poder tener el producto deseado. Estos medios son los siguientes:

- UAV DJI Inspire, que aporta la información necesaria de las cubiertas de la ciudad y los patios interiores.
- Mobile mapper (MM) Leica Pegasus TWO, que permite obtener datos en 3D de calidad e imáge-

“The model is used to create different simulations of analysis of more efficient options for urban intervention, studying the repercussions on traffic due to street cuts in works, sustainability in the intervention of facades and the impact of new urban elements.

It also creates a maintenance system in the intervened heritage and takes advantage of the BIM model for planning, improving the control of costs and deadlines to the administration.

At that time different ways of collecting data are considered, but we only find the capture by point clouds compatible with the project idea, for several reasons. The first of all is the precision in the data obtained, the unification in a single data base of all needs, the generation of a historical point of data collection, the impossibility of constantly going to take data by location with respect to the study and finally the magnitude of the project (154 blocks, equivalent to 229.36ha and 41km of public roads).

Of all the options that exist in the market it is believed necessary to combine 3 to be able to have the desired product. These means are as follows:

- UAV DJI Inspire, which provides the necessary information on the city's roofs and interior courtyards.
- Mobile mapper (MM) Leica Pegasus TWO, which provides quality 3D data and high dynamic range (HDR) images.
- Laser Station P40, with greater definition in elements that require it, as well as data not accessible otherwise (works, pedestrian zones ...) with this technology will obtain the geometry and image of the current state in accuracy.



Figura 2.
Nube de puntos UAV,
Ayacucho. Fuente propia
(2017).

nes de alto rango dinámico (HDR).

- Estación Laser P40, con mayor definición en elementos que lo precisen, así como los datos no accesibles de otra forma (obras, zonas peatonales...) con esta tecnología obtendremos la geometría e imagen del estado actual en exactitud.

Dichas nubes son tratadas en Cyclone, software que ayuda a ensamblar los distintos escaneados y crear un documento único, para poder modelarlo con una precisión milimétrica.

Posteriormente se crea un as-built parametrizado con el software de modelado Revit y con apoyo de otros, que sirve de base para cualquier actuación futura, tanto de reforma como de gestión del edificio, convirtiendo esta información en un modelo BIM.

2. Proyecto como banco de pruebas

Se detecta durante el desarrollo de dicho proyecto la clara tendencia a ser el germen de la conversión de Ayacucho en una Smart City. Para ello se deberá colaborar en los distintos conceptos que implica dicho término y que la convertirán en una las ciudades reconocidas a nivel mundial como tal.

El concepto Smart City no sólo se centra en los nuevos proyectos de crecimiento urbano, sino que se dirige también a la adecuación de las actuales ciudades en ciudades inteligentes.

En este sentido hay que cumplir una serie de premisas que lo acerquen a un modelo prototípico de SmartCity. El modelo ideal de una ciudad inteligente se basa, principalmente, en los siguientes subsistemas tal y como lo describe <http://www.asatch.cl/> en un artículo en Noviembre de 2017:

- Generación distribuida: Consiste en que la ciudad inteligente posea generación eléctrica repartida por el territorio: el abastecimiento es individualizado no cen-

These clouds are treated in Cyclone, software that helps to assemble the different scans and to create a unique document, to be able to model it with a millimetric precision.

An as-built is then created, parameterized with the Revit modeling software and with the support of others, which serves as a basis for any future action, both reform and building management, turning this information into a BIM model.

2. Project as test bench

The clear tendency to be the germ of the conversion of Ayacucho into a Smart City is detected during the development of this project. In order to do so, it will be necessary to collaborate in the different concepts that this thermal implies and that will turn it into one of the cities recognized worldwide as such.

The Smart City concept not only focuses on new urban growth projects, but is also aimed at the adaptation of existing cities in intelligent cities.

In this sense it is necessary to comply with a series of premises that bring it closer to a prototypical Smart-City model. The ideal model of an intelligent city is mainly based on the following subsystems as described by <http://www.asatch.cl/> in an article in November 2017:

- Distributed generation: It consists of the intelligent city having electricity generation distributed throughout the territory: the supply is individualized and not centralized.
- Smart Grids: It is known as Smart Grids to the interconnected intelligent networks, which have a bidirectional circulation of data between the control center and the user.
- Smart Metering: This is the intelligent measurement of the energy expenditure data of each user, through telecounters where the readings are made remotely and

tralizado.

- Smart Grids: Se conoce como Smart Grids a las redes inteligentes interconectadas, las cuales poseen una circulación bidireccional de datos entre el centro de control y el usuario.
- Smart Metering: Se trata de la medición inteligente de los datos de gasto energético de cada usuario, a través de telecontadores donde se realizan las lecturas a distancia y a tiempo real.
- Smart Buildings: Como modelo de eficiencia, los edificios deben ser inteligentes. Edificios domóticos que respetan el medio ambiente y que poseen sistemas de producción de energía integrados.
- Smart Sensors: Los sensores inteligentes tendrán la función de recopilar todos los datos necesarios para hacer de la ciudad una Smart City. Son parte fundamental para mantener la ciudad conectada e informada, y hacer que cada subsistema cumpla su función.
- eMobility: Implantación del vehículo eléctrico, y los respectivos puestos de recarga públicos y privados.
- Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): Son las tecnologías de la información que ayudarán a la hora de controlar los diferentes subsistemas que componen la Smart City, mediante las cuales los ciudadanos y las entidades administrativas pueden participar activamente en el control de la ciudad.
- Smart Citizen: Como en toda ciudad inteligente, la ciudadanía no debe quedar al margen de todos estos avances. Disponer de una copia virtual de la ciudad en la que resides y que debe estar a tu alcance para poder consultarla, supone un avance en materia de transparencia. La sociedad civil puede mejorar sus peticiones, tener un conocimiento más preciso sobre las necesidades de sus barrios y, de esta forma, pueden idear servicios que los enriquezcan y trasladar sus exigencias a las autoridades

Pensando en estos 8 puntos nos damos cuenta de que la necesidad de poner al modelo digital BIM al servicio de dichos objetivos, mediante la gestión centralizada de los datos. En el gemelo digital se generará una amalgama de datos que serán estratificados para la toma de decisiones y análisis de la ciudad estableciendo así una conexión con dichos objetivos.

El caso de la digitalización de Ayacucho, por su extensión, el LOD alcanzado en el proyecto, la precisión de partida y los datos ya incluidos dentro del gemelo digital lo convierte en el entorno ideal para la realización de todos estos bancos de pruebas.

Partiendo de esta base y creyendo en la necesidad de mantener dicho modelo vivo en datos durante su ciclo de vida (algo indefinido e ilimitado en el caso de

in real time.

- Smart Buildings: As a model of efficiency, buildings must be intelligent. Environmentally friendly domestic buildings with integrated energy production systems.
- Smart Sensors: Intelligent sensors will have the function of collecting all the data necessary to make the city a Smart City. They are an essential part of keeping the city connected and informed, and making each subsystem do its job.
- eMobility: Implementation of the electric vehicle, and the respective public and private charging stations.
- Information and Communication Technologies (ICT): These are the information technologies that will help to control the different subsystems that make up the Smart City, through which citizens and administrative entities can actively participate in the control of the city.
- Smart Citizen: As in any intelligent city, citizens should not be left out of all these advances. Having a virtual copy of the city in which you live and which must be within your reach to be able to consult it is a step forward in terms of transparency. Civil society can improve their requests, have a more precise knowledge of the needs of their neighbourhoods and, in this way, can devise services that enrich them and transfer their demands to the authorities.

Thinking about these 8 points we realize the need to put the BIM digital model at the service of these objectives, through centralized data management. In the digital twin will generate an amalgam of data that will be stratified for decision making and analysis of the city thus establishing a connection with these objectives.

The case of Ayacucho's digitalization, by its extension, the LOD reached in the project, the precision of the starting point and the data already included inside the digital twin makes it the ideal environment for the realization of all these test benches.

Starting from this base and believing in the need to keep this model alive in data during its life cycle (something indefinite and unlimited in the case of cities) the interaction with data sources external to the cadastre (already connected) and to the data collection itself is valued. These data will come from two main sources, GIS and sensory implanted in the site.

Seeing these two images, as it happens in other GIS data analysis and management software, it can be seen that GIS data and BIM data only coexist within the same ecosystem, but not that they interact as we could foresee. This has a sense and also a reality, but until now there is no commercialized solution that is functional, it is due to the way of understanding the data both methodologies of work. GIS understands the data associated to points, lines and polygons

ciudades) se valora la interacción con fuentes de datos externas al catastro (ya conectado) y a la propia toma de datos. Dichos datos van a provenir de dos fuentes principales, GIS y sensorica implantada en el sitio.

Viendo estas dos imágenes, al igual que ocurre en otros softwares de análisis y de gestión de datos GIS, se puede apreciar que los datos GIS y los datos BIM sólo conviven dentro del mismo ecosistema, pero no que interactúan como podíamos prever. Esto tiene un sentido y también una realidad, pero hasta este momento no existe una solución comercializada que sea funcional, es debido a la forma de entender los datos ambas metodologías de trabajo. GIS entiende los datos asociados a puntos, líneas y polígonos y BIM entiende los datos asociados a entidades dentro de datos referentes al emplazamiento. Partiendo de esta forma de concepción tan distinta, los datos no pueden ser cruzados entre sí.

En los últimos años grandes empresas de software como son Esri y Autodesk han hecho publicaciones en las que afirman poder establecer un puente entre la tecnología BIM y el GIS, pero los tests realizados para esta investigación no han sido provechosos en

and BIM understands the data associated to entities within data referring to the site. Starting from this very different form of conception, the data cannot be crossed with each other.

In recent years large software companies such as Esri and Autodesk have issued publications in which they claim to be able to bridge the gap between BIM technology and GIS, but the tests carried out for this research have not been beneficial in this respect. However, we are convinced that these data will not be understood in the long term, so this connection is not the aim of this study. <https://www.esri.es/esri-autodesk-se-unen-crear-puente-gis-bim/>

"20/11/2017 Autodesk Inc and Esri Inc have recently announced new collaboration to build a bridge between BIM technology and GIS. The two companies intend to go together to offer extensive improvements in the context of visualizing environmental and city data."

The aim of this study is to connect all these data with more data, which are generated or could be generated within large building complexes or even cities, using a BIM model. This model will provide information about the city itself as a housing infrastructure,

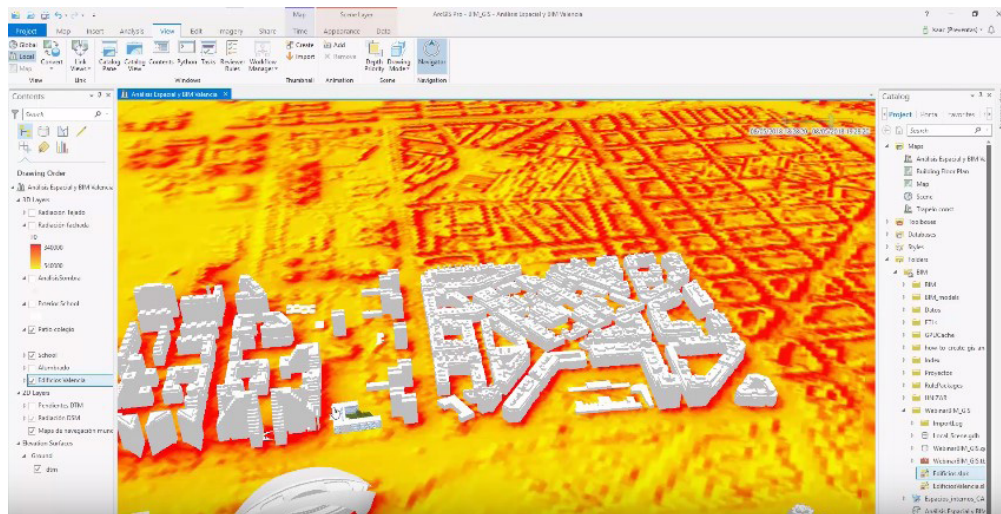


Figura 3.
Análisis realizados de ArcGIS,
video demo de Esri (2018).

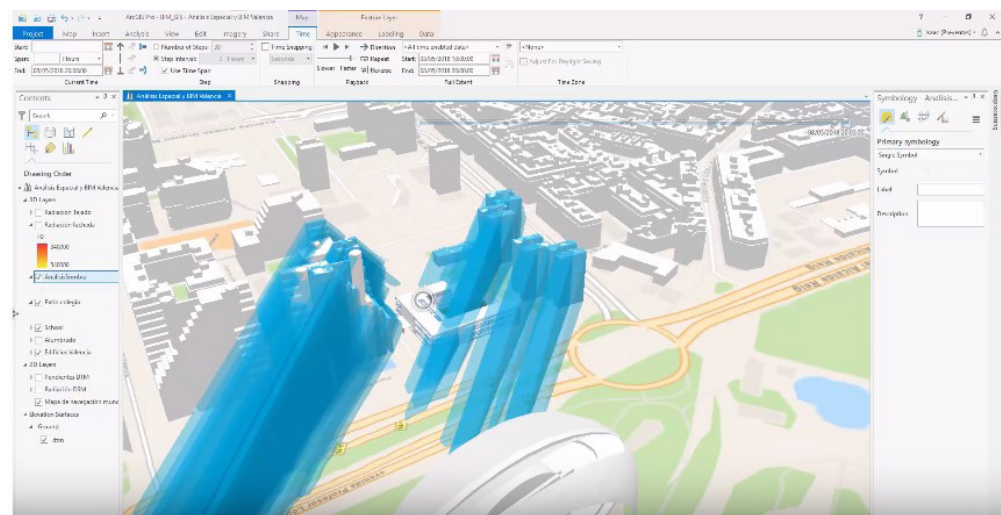


Figura 4.
Análisis realizados de ArcGIS,
video demo de Esri (2018).

ese sentido. No obstante estamos convencidos de que dichos datos a no muy largo plazo acabaran por entenderse, por eso no es objetivo de este estudio dicha conexión. <https://www.esri.es/esri-autodesk-se-unen-crear-puente-gis-bim/>

"20/11/2017 Autodesk Inc y Esri Inc han anunciado recientemente una nueva colaboración para construir un puente entre la tecnología BIM y el GIS. Ambas compañías pretenden ir juntas para ofrecer amplias mejoras en el contexto de visualización de datos medioambientales y de ciudades."

El objetivo de este estudio es la conexión de todos estos datos con más datos, que se generan o podrían generarse dentro de grandes complejos edificatorios o incluso ciudades, apoyándose en un modelo BIM. Dicho modelo aportará la información de la propia ciudad como infraestructura alojadora haciendo que interactúe con los elementos sensoricos.

Las sensoricas pueden existir de varios tipos y con distinto alcance. Podemos plantearnos sensoricas que afecten al conjunto de la ciudad, como puede ser para análisis de flujo de tráfico, análisis de contaminación y humedad, análisis de movimiento de personas... o podemos plantearnos la obtención de datos que sean referentes al edificio o manzana (cuadra en el caso de Ayacucho) en el punto de conexión con la ciudad o bien hacia el interior de la propia edificación (pero estos datos no son interesantes para la evolución y desarrollo más allá de su conexión con esta).

Con estas dos escalas de análisis se genera un entramado de información que nos va a permitir una mejor toma de decisiones.

En este estudio vamos a tratar ambas escalas como caso de estudio. A nivel de ciudad se planteará los usos y beneficios e inconvenientes que se obtienen del análisis de los flujos de personas y vehículos y a nivel de edificación estudiaremos dicho factor y factores relacionados con la ocupación y la tipología edificatoria.

3. Análisis de datos

3.1. Datos del edificio o manzana (cuadra) y su relación con la ciudad

Utilizando los datos que se han referenciado en el modelo de bases de datos catastrales y de la información GIS que se nos aporta de la zona, podemos realizar un cruzado de datos que nos permitirá tomar decisiones en base a datos reales de nuestro modelo digital conectados a datos que se actualizan constantemente del modelo real.

Para resolver el problema de conexión entre BIM y GIS nos apoyamos en la utilización de un elemento denominado "Habitación" dentro de nuestro software de modelado. Dicha entidad nos permitirá

making it interact with sensory elements.

Sensoric elements can exist of several types and with different scope. We can consider sensors that affect city as a whole, such as traffic flow analysis, analysis of pollution and humidity, analysis of movement of people... or we can consider obtaining data that refer to the building or block (block in the case of Ayacucho) at the point of connection with the city or towards the interior of the building itself (but these data are not interesting for evolution and development beyond its connection with this).

These two scales of analysis generate a network of information that will allow us to make better decisions.

In this study we will treat both scales as a case study. At city level we will consider, the uses and benefits and drawbacks obtained from the analysis of flows of people and vehicles and at building level, we will study this factor and factors related to occupation and building typology.

3. Data analysis

3.1. Details of the building or block and its relationship with the city

Using the data referenced in the cadastral database model and the GIS information provided by the area, we can cross-check data that will allow us to make decisions based on real data from our digital model connected to data that are constantly updated from the real model.

In order to solve the problem of connection between BIM and GIS we rely on the use of an element called "Room" within our modeling software. This entity will allow us to centralize the GIS information that is not associated to specific objects, to an element with geometry (distinction with GIS) that in turn can be related to the rest of the BIM model.

This aspect, together with the geocoding of alphanumeric data containing geographical information (such as addresses, postal codes, coordinates, etc.), allows us to relate this intangible data with the tangible data. For example, all the elements of the project will have coordinates and I can establish a relationship between them.

As a first case study, we are going to establish the need for infrastructures referring to education that give service to the citizen according to the people who are registered in these properties.

As we can observe in figure 5, as the first case of analysis, the need or not for schools in the study area depending on the age the school attends and the age of the children in the area.

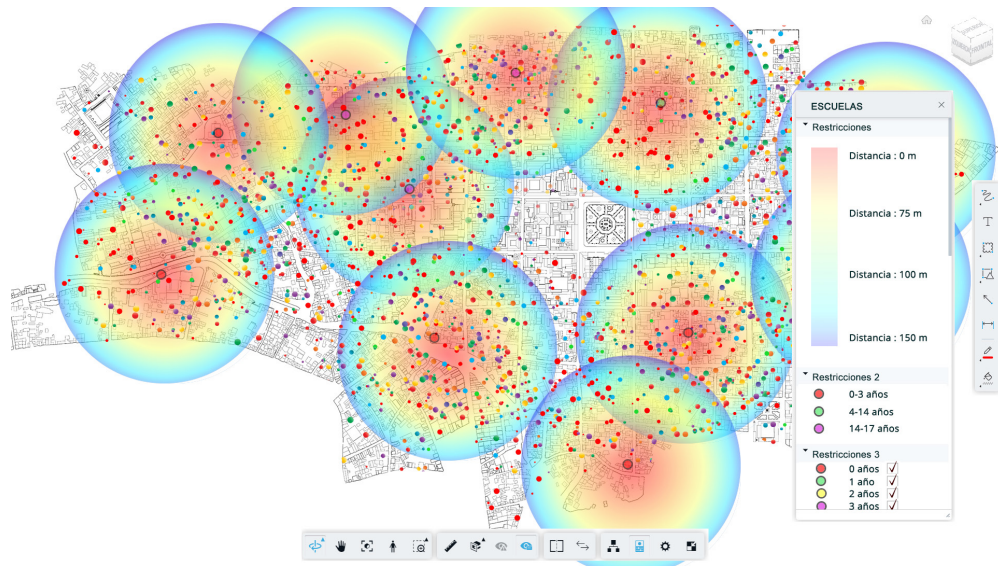


Figura 5.

Análisis de datos basados en población infantil- juvenil frente a las zonas escolares dentro del área de estudio. (Fuente: Propia 2019).

centralizar la información GIS que no va asociada a objetos puntuales, a un elemento con geometría (distinción con GIS) que a su vez puede tener relación con el resto del modelo BIM.

Este aspecto unido a la geocodificación de los datos alfanuméricos que contengan información geográfica (como son direcciones, códigos postales, coordenadas...) nos permite relacionar ese dato intangible con los datos tangibles. Así por ejemplo todos los elementos del proyecto tendrán unas coordenadas y puedo establecer relación entre ellos.

Como primer caso de estudio vamos a establecer la necesidad de infraestructuras referentes a educación que den servicio al ciudadano según las personas que están censadas en dichos inmuebles.

Según podemos observar en la figura 5, como primer caso de análisis, la necesidad o no de escuelas en la zona de estudio en función de la edad que atiende la escuela y la edad de la población infantil de la zona.

En el gráfico se puede apreciar con círculos de colores sólidos las escuelas actuales, con una leyenda de colores en función del alcance, otro círculo degradado que se denomina "zona cómoda" de 150 m (pero podría ampliarse a lo que se considerara), que es la distancia en la cual se considera que el usuario puede hacer un uso constante y fluido de la infraestructura. Como segunda entrada de análisis esta la población por edades dentro del rango de estudio, de tal forma que si se filtra por edades y por tipología de colegios que den servicio a dichas edades se obtendría la cantidad de infantes de un determinado rango de edad que se queda fuera de la zona denominada "zona cómoda" de acceso a los centros educativos y podremos tomar decisiones en base a dichos análisis de datos.

En la figura 6, podemos ver como el análisis es re-

In the graph you can see with circles of solid colors the current schools, with a legend of colors depending on the range, another degraded circle that is called "comfortable zone" of 150 m (but could be extended to what is considered), which is the distance in which it is considered that the user can make a constant and fluid use of the infrastructure. As a second input analysis is the population by age within the range of study, so that if we filtered by age and by type of schools that serve these ages, we would obtain the number of infants of a certain age range that is outside the area known as the "comfort zone" of access to schools, and we would be able to make decisions based on such data analysis.

In figure 6, we can see how the analysis refers to the services that exist in the area of action of medical areas, understood as consultations, hospitals, health centers and health centers.

In this case, the study is applied by age ranges and the medical specialties that have these health endowments and thus have deeper analysis of all the needs of the population at the time of analysis and also perform predictive actions to a number of years in order to reach also cover needs that are going to occur.

According to this graph we can see that with the 500 meters that are given radius to the "comfort zone" is not enough to cover all the needs that exist. However, in the southeast part of the "Plaza de Armas" we may be more covered, given that in the northwest one of the points is a county hospital that by surface could serve more patients and therefore expand the scope of action.

All these graphs could condition them not only to the sanitary typology but also to the distance but also to the capacity by means that has each one of these centers. If there were also census data on people with specific illnesses or special needs, we

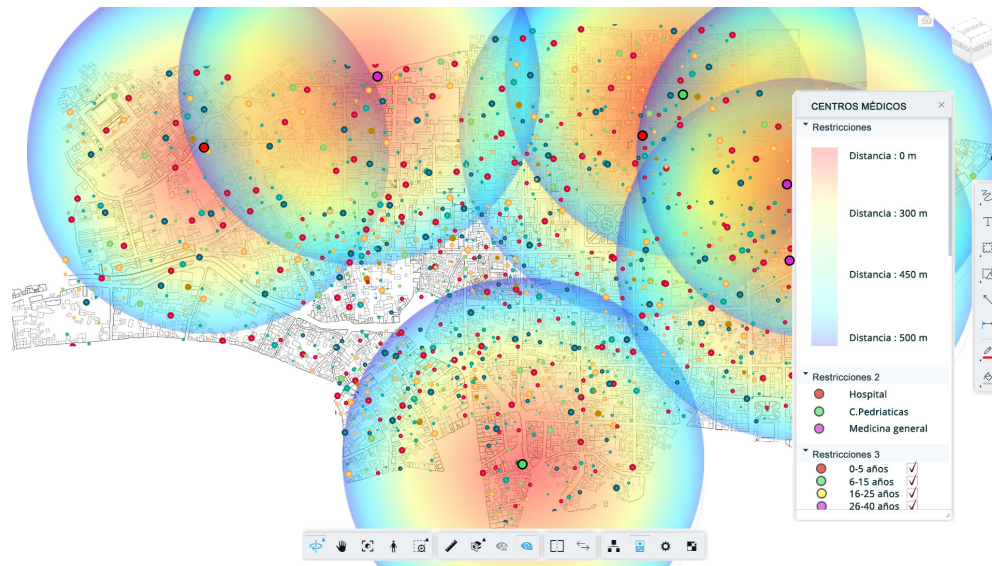


Figura 6. Análisis de datos basados en población frente a las zonas médicas dentro del área de estudio. (Fuente: Propia 2019).

ferente a los servicios que existen en la zona de actuación de zonas médicas, entendido estas por consultas, hospitales, centros de salud y centros asistenciales.

En este caso el estudio se aplica por rangos de edades y las especialidades médicas que tienen dichas dotaciones sanitarias y de esta forma tener un análisis más profundo de todas las necesidades de la población en el momento del análisis y realizar también actuaciones predictivas a un número de años con el fin de llegar a cubrir también necesidades que se van a dar.

Según este gráfico podemos ver que con los 500 metros que se le dan de radio a la “zona cómoda” no es suficiente para cubrir todas las necesidades que existen. No obstante, en la parte Sureste de la Plaza de Armas podremos estar más cubiertos, dado que en la zona noroeste uno de los puntos es un hospital de comarca que por superficie podría dar servicio a mayor número de pacientes y por lo tanto ampliar el ámbito de actuación.

Todas estas gráficas podríamos condicionarlas no sólo a la tipología sanitaria sino también a la distancia sino también a la cantidad por medios que tiene cada uno de los centros. Si existiera también a nivel censal datos de personas con enfermedades específicas o necesidades especiales, también podríamos estimar servicios a corto y largo plazo para cubrir dichas necesidades a partir de estos análisis.

3.2. Datos de la ciudad y su relación con los edificios

Otros datos que se han podido analizar de forma más focalizada en la ciudad, es la afluencia de gente dentro de un acto público como puede ser dentro de la Semana Santa de Ayacucho. Se escoge esta festividad por ser de referencia para dicha ciudad tanto a nivel nacional como con proyección internacional,

could also estimate short and long term services to cover these needs based on these analyses.

3.2. Data of the city and its relation with the buildings

Other data that could be analyzed more focused on the city, is the influx of people within a public event such as Easter Ayacucho. This festivity is chosen because it is a reference for this city both nationally and internationally, reaching an increase of 40,000 inhabitants during the ten days that the festivity lasts in this city.

We must think that in the area of action are located 33 churches, in a fairly regular mostly non pedestrian streets 5.50 m wide with small sidewalks on both sides and a lane for vehicles.

Joining this factor, which makes that in festivities like the one we intend to analyze, the study area is quite collapsed by pedestrians and the fact that all the main streets lead to the Plaza de Armas, an important location within the city and within these festivals. Two of these streets are the only pedestrian streets within the area, it is important to analyze what happens with the movements of people as well as their coincidence with timetables of acts to make decisions on security, location of shops, health posts ...

Within this analysis it is possible to consider the housing of data from individual movement sensors, in such a way that we can see during the days that we consider, in real time, how are the flows of people inside a building, seeing if it coincides with specific events within the city or if they are influenced by events specific to the building, such as exhibitions, masses, concerts ... this will allow us to assess for example security actions around that building in those moments of greater affluence or see that reaction time exists to solve problems that until that

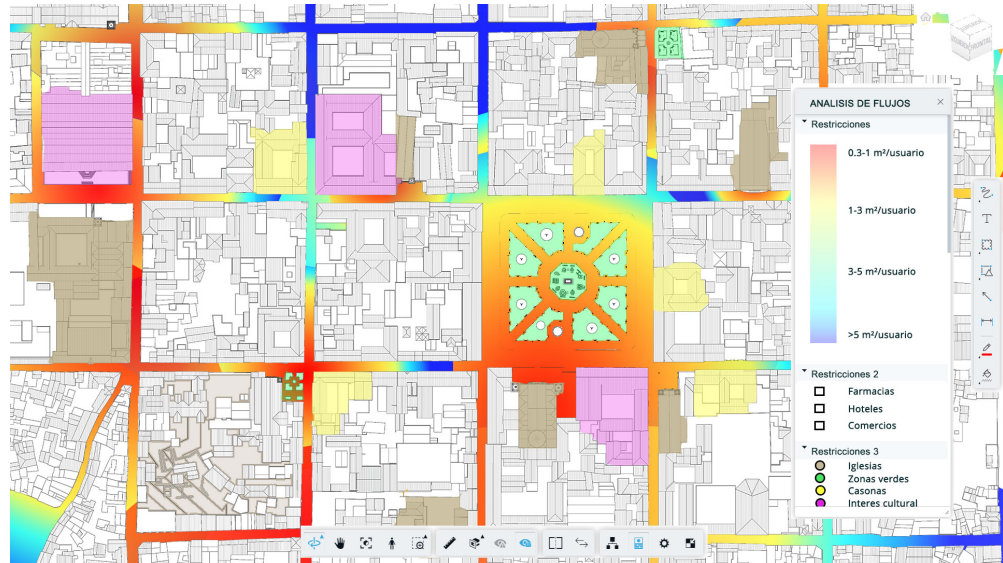


Figura 7.
Análisis de datos basados en los flujos de personas dentro de la festividad de Semana Santa de Ayacucho. (Fuente: Propia 2019).

llegando a aumentar en 40.000 habitantes los diez días que dura la festividad.

Debemos pensar que en la zona de actuación se encuentran ubicadas 33 iglesias, en un trazado bastante regular de calles en su mayoría no peatonales de 5.50 m de ancho con aceras pequeñas a ambos lados y un carril para vehículos.

Uniendo este factor, que hace que en festividades como la que se pretende analizar, la zona de estudio se vea bastante colapsada por los peatones y el hecho de que todas las calles principales desembocan en la plaza de Armas, (ubicación importante dentro de la ciudad y dentro de estas fiestas), siendo dos de las únicas calles peatonales dentro del área, es importante analizar que ocurre con los movimientos de personas así como su coincidencia con horarios de actos para tomar decisiones de seguridad, de localización de comercios, puestos sanitarios...

Dentro de este análisis se puede plantear el alojamiento de datos procedentes de sensórica de movimiento individual, de tal forma que podamos ver durante los días que nosotros consideremos, en tiempo real, como son los flujos de personas dentro de un edificio, viendo si coincide con eventos puntuales dentro de la ciudad o si son influidos por eventos propios del edificio, como pueden ser exposiciones, misas, conciertos... esto lo que nos va a permitir es valorar por ejemplo actuaciones de seguridad en torno a ese edificio en esos momentos de mayor afluencia o ver qué tiempo de reacción existe para solventar problemas que hasta dicho momento no eran monitorizados.

Durante estos días de fiestas por ejemplo se plantean cortes de calles para las procesiones, para actos oficiales, para misas en espacios públicos... en base a los datos obtenidos con la sensórica puedo tomar decisiones referentes a esos flujos. Lo mismo ocurrirá con respecto al posicionamiento de ele-

time were not monitored.

During these days of festivities, for example, streets are cut for processions, for official acts, for masses in public spaces... on the basis of the data obtained with the sensoric I can make decisions regarding these flows. The same will happen with respect to the positioning of security deterrents (bollards, cutting barriers, ...), or as previously named health posts and local service in such festivities. It will be on the basis of these expected flows that I will be able to determine the most optimal location.

In figure 8 we can see the graph of data obtained from the last study to be analyzed at this time. These are data obtained in Sagunto (Valencia) within the pilot project of sensorization included in the strategy "Sagunt.Smart City". As reported on the Town Hall portal <http://www.aytosagunto.es>, the devices have been placed in different public buildings and in some avenues of the city to collect data on the influx of people in public spaces and analyze them, as well as develop patterns of urban mobility, which are very useful in decision-making and the implementation of public policies related to traffic, mobility and safety.

On those holidays peaks of almost 2,000 people were detected at 20:30 hours in some fault or peaks of 2,900 detections in the award ceremony of the faults that took place in front of the town hall.

"To have the information means to be able to act with precision and offer answers in the most immediate way possible", explained the councillor of New Technologies, Roser Maestro, "and this is precisely what the sensorization project is looking for".

4. Conclusions

The reason for centralizing information in a single digital model generated from a cloud of points is just-

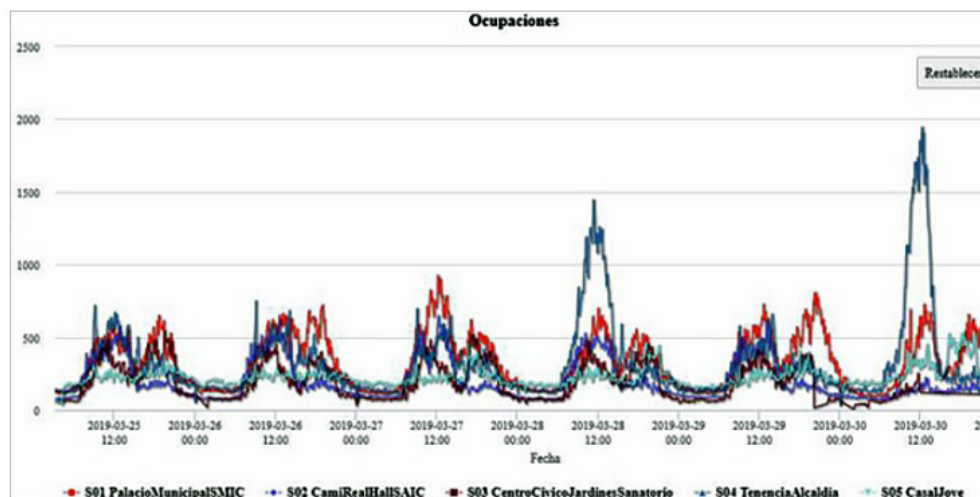


Figura 8. Gráfico que muestra los picos de afluencia de personas que se detectaron con motivo de las Fallas a través del sistema de sensorización en Sagunto. (Fuente: www.Smatcity.es 2019).

mentos disuasorios de seguridad (bolardos, barreras de corte,...), o como nombraba antes puestos sanitarios y locales que den servicio en dichas festividades. Será, en base a estos flujos que se prevén como podrá determinar la ubicación más óptima.

En la figura 8 podemos ver la gráfica de datos obtenidos del último estudio analizar en este momento. Se trata de datos obtenidos en Sagunto (Valencia) dentro del proyecto piloto de sensorización incluida en la estrategia "Sagunt.Smart City". Tal y como se informa en el portal del ayuntamiento <http://www.aytosagunto.es>, los dispositivos se han colocado en diferentes edificios públicos y en algunas avenidas de la ciudad para recopilar datos sobre afluencia de personas en espacios públicos y analizarlos, así como desarrollar patrones de movilidad urbana, que resultan de gran utilidad en la toma de decisiones y la implantación de políticas públicas vinculadas al tráfico, la movilidad y la seguridad.

En esos días festivos se detectaron picos de casi 2.000 personas a las 20:30 horas en alguna falla o los picos de 2.900 detecciones en el acto de entrega de premios de las fallas que se produjo frente al ayuntamiento. "Tener la información significa poder actuar con precisión y ofrecer respuestas de la manera más inmediata posible", explicó la concejala de Nuevas Tecnologías, Roser Maestro, "y esto es, precisamente, lo que busca el proyecto de sensorización".

4. Conclusiones

El porqué de una centralización de información en un único modelo digital generado a partir de una nube de puntos queda justificado, dado que son muchos los datos que pueden verse influidos por el propio entorno donde se generan.

Planteándonos el análisis de todos estos datos de forma aislada siempre tendremos soluciones aisladas, debemos pensar en el modelo digital como un aglutinador y centralizador de toda la información

field, given that many data can be influenced by the environment in which they are generated.

We must think of the digital model as an agglutinator and centralizer of all the information generated by the city in such a way that we have all the necessary data to carry out specific or more general actions within the urban environment or the individual building. Think of the city as a "Matrioska" of information, in which from the scale of a light sensor on a street lamp, to the data of deviations taken from sensory in heritage, we can make decisions about the whole city through experiences and analysis.

Analysing the behaviour of the people who inhabit the spaces will make us have more social spaces and adapted to the needs they pose, making it a more citizen-friendly and more inclusive city, therefore.

Actions on as precise a model as possible make the results more precise and therefore the solutions, hence the importance of being rigorous in the data and the quality of these.

Returning to the main subsystems proposed, Smart Metering, Smart Buildings, Smart Sensors, eMobility, Information and Communication Technologies (ICT) and Smart Citizen generate and need the information necessary to feed these subsystems and make them effective and sustainable over time.

If a total coexistence of data is not generated, it will always be isolated and partial data without a global conception.

Believing that in a not too distant period of time, the coexistence of data GIS, BIM, IoT, BigData will be something habitual in our environment is time to propose strategies based on data obtained from all these sources as a single source.

generada por la ciudad de tal forma que tengamos todos los datos necesarios para realizar actuaciones puntuales o más generales dentro del ámbito urbano o de la edificación individual. Pensemos en la ciudad como una "Matrioska" de información, en la que desde la escala de un sensor lumínico sobre una farola, hasta los datos de desviaciones tomados de sensóricas en patrimonio, podremos tomar decisiones sobre toda la ciudad mediante experiencias y análisis.

Analizar el comportamiento de las personas que habitan los espacios nos hará tener espacios más sociales y adecuados a las necesidades que plantean, convirtiéndola en una ciudad más amigable para el ciudadano y más integradora, por lo tanto.

Actuaciones sobre un modelo lo más preciso posible hacen más precisos los resultados y por lo tanto las soluciones, de ahí la importancia de ser riguroso en los datos y la calidad de estos.

Volviendo a los principales subsistemas planteados, Smart Metering, Smart Buildings, Smart Sensors, eMobility, Tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y Smart Citizen generan y necesitan información necesaria para alimentar dichos subsistemas y hacerlos efectivos y sostenibles en el tiempo.

Si no se genera una convivencia total de datos siempre serán datos aislados y parciales sin concepción global. Creyendo que en un periodo no lejano de tiempo, la convivencia de datos GIS, BIM, IoT, Big-Data... serán algo habitual en nuestro entorno es momento de plantear estrategias en base a los datos obtenidos de todas esas fuentes como una sola fuente.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Asociación de arquitectos tasadores de Chile A.G. <http://www.asatch.cl/smart-city-o-ciudad-inteligente-concepto-que-se-posiciona-con-nuevos-parametros-de-evaluacion/>
- [2] Congreso EUBIM 2018. URBIM: CIUDADES DIGITALES. BIM EN INTERVENCIONES Y ANALISIS URBANOS
- [3] Página web del ayuntamiento de Sagunto. [http://www.aytosagunto.es_Documentación sobre "Sagunt.Smart City](http://www.aytosagunto.es_Documentación sobre)
- [4] Modelling dependency networks to inform data structures in BIM and smart cities. Al Sayed, K. y otros, 2013.
- [5] BIM Building Smart. Building Smart, 2014. [En línea] Available at: <http://www.buildingsmart.es/bim/>
- [6] Representing and exchanging 3D city models with CityGML. 3D geoinformation sciences. Kolbe, T. H., 2009Springer Berlin Heidelberg, pp. 15-31.
- [7] BIM & GIS connectivity paves the way for really Smartcities. Månsson, U., 2015. Perspektiv n. 25, pp. 20-23
- [8] Facility Management y Smart Cities. 2015. [Entrevista] (30 11 2015). Open Geoespacial Consortium, 2016. OGC Standards. [En línea] Available at: <http://www.opengeospatial.org/docs/is>
- [9] 2012. Smart City: hacia un nuevo paradigma en el modelo de ciudad. Quesada, S. & Pulido, A. L., Greencities&Sostenibilidad, pp. 6-8.
- [10] Smartcity Expo World Congress, 2016. FM&BS. [En línea] Available at: <http://www.smartcityexpo.com/en/fmbs>
- [11] Smart city framework – Guide to establishing strategies for smart cities and communities. BSI Standards Publications. PAS 181:2014. Feb. 2014. <https://aecmag.com/comment-mainmenu-36/1293-mapping-the-future-of-smart-cities?platform=hootsuite>

Sensores de captura de realidad aplicados a la construcción 4.0 de SmartCities: ejemplo de la ciudad de Ayacucho

Reality capture sensors applied to construction 4.0 of SmartCities: example of city of Ayacucho

Daniel Pablos-Andrés¹, Rodrigo García-Roldán¹

ABSTRACT

Cada vez existen herramientas más avanzadas para la realización de diseños de proyectos, siendo estas un pilar fundamental en el diseño de las SmartCities o ciudades inteligentes. Con la inmersión de procesos BIM en el mundo de la construcción 4.0, la calidad documental de los proyectos es cada vez más detallada y es necesario que esos diseños sean lo más fieles a la realidad, evitando así imprecisiones y desviaciones en el presupuesto.

Todo el sistema que forma una ciudad puede trasladarse al mundo virtual generando un gemelo digital. Esto permite adelantarse a los posibles problemas que puedan producirse y probar innovadoras soluciones sin arriesgar o simular proyectos de futuro a través de una pantalla. Las aplicaciones del modelado BIM en Smart-Cities son de gran utilidad para la gestión de servicios administrativos de la propia ciudad como la gestión de los recursos, inventariado urbano, proyectos de rehabilitación, gestión del patrimonio, seguridad, turismo etc.

El primer paso para diseñar ciudades cada vez más inteligentes y sostenibles, pasa por conocer el estado actual de estas, y realizar su copia en el mundo digital para poder simular las diferentes mejoras y optimizaciones. Es aquí donde comienza la primera de las numerosas aportaciones de los sistemas de captura de realidad.

Existen diferentes herramientas para obtener nubes de puntos que representan la realidad con detalle y precisiones milimétricas. Entre estas herramientas que captan millones de puntos por segundo destacan los sistemas UAV, los laser escáner 3D y el Mobile Mapping entre otros. Combinando estos sistemas, se puede llegar a obtener una nube de puntos que representa el estado actual de una ciudad en su totalidad. Esta información es la base geométrica para el desarrollo del modelado BIM, ya que se utilizará para modelar de una manera totalmente fiel a la realidad todos los elementos que componen la ciudad.

Un ejemplo del uso de estas tecnologías de captura masiva se realizó en la ciudad de Ayacucho por parte de la empresa C95 Creative. En este proyecto se utilizaron diferentes herramientas de medición masiva como el láser escáner terrestre, mobile mapping, UAV,.... para digitalizar la ciudad. Una vez obtenida la nube de puntos de toda la ciudad, se realizó el modelo BIM de esta, generando de esta forma el gemelo digital de la ciudad de Ayacucho.

Key Words: Capture Reality, BIM, UAV, Scanner 3D, Mobile Scanning

(1) Soporte Comercial, Autovía de Fuencarral a Alcobendas, nº 24, Km 15,700 - Edificio Europa I, Bloque 3, 28108 Madrid, +34 651719319, daniel.pablos@leica-geosystems.com

1. Introducción

Desde los años 90, el impulso de la tecnología ha facilitado y abierto nuevos horizontes sobre las ciudades. Las ciudades inteligentes o Smart Cities están íntimamente relacionadas con el uso de estas nuevas tecnologías y las poderosas herramientas y ventajas que estas nos ofrecen.

Una Smart City o ciudad 4.0 se puede describir como aquella ciudad que aplica las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) con el objetivo de proveerla de una infraestructura que garantice un desarrollo sostenible, un incremento de la calidad de vida de los ciudadanos, una mayor eficacia de los recursos disponibles y una participación ciudadana activa.

Cada día más de 180.000 personas se trasladan a una ciudad para vivir, y actualmente más de la mitad de la población mundial vive en ciudades. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) prevé que en 2050 la población mundial ascenderá a 9.000 millones de habitantes, de los cuales el 70% vivirá en centros urbanos. Teniendo en cuenta que las metrópolis consumen ya más del 75% de la producción de energía mundial y generan el 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero, muchas urbes han apostado por reciclarse estratégicamente y transformarse digitalmente para dar respuesta a algunos de los grandes desafíos globales: aumento de la población, polución, escasez de recursos, gestión del agua o eficiencia energética.

El compromiso medioambiental de las ciudades es uno de los principales pilares de una Smart City. Sensores en farolas para medir la calidad del aire u optimizar el gasto eléctrico, instalación de paneles fotovoltaicos en semáforos o señales de tráfico, monitoreo digital de los contenedores para mejorar la recogida de residuos, contadores inteligentes de agua y luz o la promoción del vehículo eléctrico y la bicicleta son solo algunos ejemplos de las medidas reales que ya se están adoptando para reducir el consumo de los recursos naturales.

Por lo tanto, el concepto de Smart City no solo se centra en los nuevos proyectos de crecimiento urbano: se dirige también a la adecuación de las actuales ciudades en ciudades inteligentes.

Estos proyectos actuales de remodelación de las ciudades plantean diferentes objetivos como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20%, reducir el consumo de energía un 20% mediante mejoras en la eficiencia energética y aumentar el uso de las energías renovables para la generación eléctrica entre otros.

Actualmente, los proyectos de remodelación y adecuación a las nuevas tecnologías se están llevando a cabo tanto en grandes urbes como en pequeños

1. Introduction

Since the 90's, the impetus of technology has facilitated and opened up new horizons on cities. Smart cities are intimately linked to the use of these new technologies and the powerful tools and benefits that they offer.

A Smart City or City 4.0 can be described as a city that applies information and communications technology (ICT) with the aim of providing it with an infrastructure that guarantees sustainable development, increased quality of life for citizens, more efficient use of available resources and active civic participation.

Every day more than 180,000 people move to a city to live, and at present more than half of the global population lives in cities. The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) predicts that in 2050 the world population will rise to 9 billion inhabitants, of which 70% will live in urban centers. Bearing in mind that metropolises already now consume more than 75% of the world's energy production and generate 80% of greenhouse gases, many big cities have committed to recycling strategically and transforming digitally in order to respond to some of the major global changes; increased population, pollution, lack of resources, water management and energy efficiency.

The environmental commitment of cities is one of the main pillars of a Smart City. Sensors in streetlights to measure the quality of air or optimizing electricity usage, the installation of photovoltaic panels in traffic lights or traffic signs, digital monitoring of containers in order to improve waste collection, smart water and electricity meters and the promotion of electric vehicles and bicycles are just some examples of real measures that are already being adopted in order to reduce the consumption of natural resources.

Therefore, the Smart City concept is not only focused on new urban growth projects: it is also aimed at adapting current cities to make them smart cities.

These current projects for the remodeling of cities have different objectives such as reducing the emissions of greenhouse gases by 20%, reducing energy consumption by 20% via improvements to energy efficiency and increasing the use of renewable energy for power generation, among others.

At present, projects for remodeling and adapting to new technologies are being carried out both in large cities and in small cities, turning Smart Cities into reality.

The ideal model of a smart city is mainly based on the following subsystems:



Figura 1.
Smacity creada por
Leica Geosystems (Leica
Geosystems, 2016).

municipios, haciendo que las Smart Cities se conviertan en una realidad.

El modelo ideal de una ciudad inteligente se basa, principalmente, en los siguientes subsistemas:

- Generación distribuida: Consiste en que la ciudad inteligente posea generación eléctrica repartida por el territorio: el abastecimiento es individualizado no centralizado.
- Smart Grids: Se conoce como Smart Grids a las redes inteligentes interconectadas, las cuales poseen una circulación bidireccional de datos entre el centro de control y el usuario.
- Smart Metering: Se trata de la medición inteligente de los datos de gasto energético de cada usuario, a través de telecontadores donde se realizan las lecturas a distancia y a tiempo real.
- Smart Buildings: Como modelo de eficiencia, los edificios deben ser inteligentes. Edificios domóticos que respetan el medio ambiente y que poseen sistemas de producción de energía integrados.
- Smart Sensors: Los sensores inteligentes tendrán la función de recopilar todos los datos necesarios para hacer de la ciudad una Smart City. Son parte fundamental para mantener la ciudad conectada e informada, y hacer que cada subsistema cumpla su función.
- eMobility: Implantación del vehículo eléctrico, y los respectivos puestos de recarga públicos y privados.
- Tecnologías de la información y la comunicación (TIC): Son las tecnologías de la información que
- Distributed generation: It consists of the smart city having power generation spread around the territory: the supply is individualized and not centralized.
- Smart Grids: Smart Grids is the name given to smart interconnected networks, which have a bi-directional flow of data between the control center and the user.
- Smart Metering: This is smart metering of the energy consumption data of each user, through smart meters which carry out readings remotely and in real time.
- Smart Buildings: As a model of efficiency, buildings must be smart. Automated buildings that respect the environment and that have built-in energy production systems.
- Smart Sensors: Smart sensors will perform the role of compiling all the data needed to turn a city into a Smart City. They are a crucial aspect in order to keep the city connected and informed, and to make each subsystem perform its role.
- eMobility: The implementation of electric vehicles, and the respective public and private charging points.
- Information and communications technology (ICT): This is the information technology that will help when it comes to controlling the different subsystems that comprise a Smart City, through which citizens and administrative entities can actively participate in control of the city.
- Smart Citizen: As in every smart city, citizens must not be left out of all these advances. Having a virtual copy of the city you reside in, which should

ayudarán a la hora de controlar los diferentes sub-sistemas que componen la Smart City, mediante las cuales los ciudadanos y las entidades administrativas pueden participar activamente en el control de la ciudad.

- Smart Citizen: Como en toda ciudad inteligente, la ciudadanía no debe quedar al margen de todos estos avances. Disponer de una copia virtual de la ciudad en la que resides y que debe estar a tu alcance para poder consultarla, supone un avance en materia de transparencia. La sociedad civil puede mejorar sus peticiones, tener un conocimiento más preciso sobre las necesidades de sus barrios y, de esta forma, pueden idear servicios que los enriquezcan y trasladar sus exigencias a las autoridades

2. Gemelos digitales

Para poder cumplir todos estos objetivos, cada vez existen herramientas más avanzadas para la realización de diseños de proyectos, siendo estas un pilar fundamental en el diseño de las Smart Cities.

Dentro de las posibilidades que ofrecen las TICs, existe la necesidad de tener control dimensional sobre los activos que componen las Smart Cities, para ello gracias a los procedimientos de construcción 4.0 como el BIM la calidad documental de los proyectos es cada vez más detallada y los diseños son cada vez más fieles a la ejecución, evitando así imprecisiones y desviaciones en el presupuesto desde su concepción hasta su disposición final.

Todo el sistema que forma una ciudad puede trasladarse al mundo virtual generando un gemelo digital. Esto permite adelantarse a los posibles problemas que puedan producirse y probar innovadoras soluciones sin correr ningún riesgo, al disponer de herramientas de detección temprana, sin ser necesaria la ejecución del proyecto para detectar fallos o bien, simular proyectos de futuro a través de una pantalla. Las aplicaciones del modelado BIM en Smart Cities son de gran utilidad para la gestión de servicios administrativos de la propia ciudad como la gestión de los recursos, inventariado urbano, proyectos de rehabilitación, gestión del patrimonio, seguridad, turismo etc.

El concepto de gemelo digital comenzó a utilizarse en el sector de la industria, dentro de lo que se denomina industria 4.0, el mismo que el de los gemelos digitales de ciudades, permite replicar una fábrica en el mundo virtual, que pueda prevenir problemas en la producción antes de que ocurran, con la que se puedan probar nuevas formas de producir sin tener costes ni pérdidas o personalizar la producción, además de permitir la virtualización de la realidad para su posterior análisis y tratamiento.

Por lo tanto, los gemelos digitales basados en el aná-

be at your fingertips in order to consult it, is an advance in terms of transparency. Civil society can improve its requests, have more precise knowledge about the needs of its neighborhoods and, thus, citizens can devise services that could enrich them and convey their demands to the authorities

2. Digital twins

In order to fulfil all of these objectives, there are increasingly advanced tools for carrying out project designs, and they are a crucial pillar in the design of Smart Cities.

Among the opportunities offered by ICT, there is the need to have dimensional control of the assets that comprise the Smart Cities, for that purpose, thanks to 4.0 construction procedures such as BIM, the quality of project documentation is increasingly detailed, and designs are increasingly faithful to implementation, thus avoiding inaccuracies and deviations in the budget from its inception to its final provision.

The entire system that forms a city can be transferred to the digital world, generating a digital twin. This makes it possible to anticipate possible problems that may occur and test out innovative solutions without taking any risk, by having early detection tools, without it being necessary to implement the project to detect faults, or by simulating future projects through a screen. The use of BIM modelling in Smart Cities is highly useful for the management of the administrative services of the city itself such as the management of resources, urban inventory, rehabilitation projects, heritage management, security, tourism, etc.

The digital twin concept began to be used in the industry sector, within what is known as industry 4.0, just as with digital twins of cities, it enabled the replication of a factory in the virtual world, making it possible to prevent problems in production before they occur, and to try out new forms of production without having costs or losses or to personalize production. It also made it possible to create a virtual reality for subsequent analysis and processing.

Thus, digital twins based on smart analysis with Big Data Techniques, the Internet of Things (IoT), cloud computing and virtual reality, could be a major step forward, not only in industry, but also in cities.

Some cities have already created their digital twin, for example the city of Singapore, known internationally as a world capital of innovation. This small Asian country, with fewer than six million inhabitants, has developed Virtual Singapore, a dynamic three-dimensional model of the city and a collaborative data platform that includes 3D maps of the city.

Another of the ways that Virtual Singapore is now

lisis inteligente con técnicas Big Data, Internet de las cosas (IoT), computación en la nube y realidad virtual, pueden suponer un salto importante no solo en la industria, sino también en las ciudades.

Algunas ciudades ya han desarrollado su gemelo digital, como es el ejemplo de la ciudad de Singapur, conocida internacionalmente como una capital mundial de la innovación. Este pequeño país asiático, con menos de seis millones de habitantes, desarrolla Singapur Virtual, un modelo dinámico de ciudad en tres dimensiones y una plataforma de datos colaborativa que incluye los mapas 3D de la ciudad.

Otro de los usos que ya se está dando a Singapur Virtual es el análisis de los edificios y su potencial para la producción de energía solar, ya que en la plataforma están registrados todos los datos de cada edificio, incluyendo altura, superficie de los tejados y orientación, y del clima, con información como la temperatura ambiente, la luz solar y su variación a lo largo del día. Con todo esto se analiza cuáles son los edificios con mayor potencial para las instalaciones fotovoltaicas. Se estima cuánta energía solar pueden generar en un día, así como los ahorros energéticos que supondrán.

3. Objetivos

El objetivo principal es analizar las tecnologías existentes para establecer la relación entre la ciudad real y su gemelo digital. En esta relación bidireccional se diferencian cuatro etapas que completan el flujo de trabajo completo para la creación de las Smart Cities en cuando a la base geométrica se refiere:

- a. Captura de datos (SCAN to BIM): Gracias a los sensores de captura masiva de la realidad podemos obtener una documentación de proyecto completamente exhaustiva y ubicada en el marco de coordenadas en las que se encuadrará el proyecto. Se incluyen las diferentes herramientas y tecnologías existentes para poder medir el estado actual de las ciudades y así poder trasladar la ciudad real al entorno digital con todo tipo de detalles y con gran precisión.
- b. Modelado BIM: La información obtenida a través de los sistemas de captura de realidad es la base geométrica para el desarrollo del modelado BIM, ya que se utilizará para modelar de una manera totalmente fiel a la realidad todos los elementos que componen la ciudad. Una vez generado el gemelo digital, es posible trabajar sobre este para poder simular las diferentes mejoras y optimizaciones.
- c. Oficina a campo (BIM to FIELD): Una vez realizadas las modificaciones en el gemelo digital de la ciudad, es necesario trasladarlas a la realidad para poder ejecutar estos cambios (ya probados en el mundo virtual) en la ciudad real.

being used is the analysis of buildings and their potential to produce solar energy, as the platform has registered all the data of each building, including height, the surface area of the roof, and the climate, with information such as the ambient temperature, sunlight and its variation throughout the day. All of this is used to analyze which buildings have the greatest potential for photovoltaic installations. The amount of solar energy that can be generated in a day is estimated, along the energy savings this would result in.

3. Objectives

The main objective is to analyze existing technologies in order to establish the relationship between the real city and its digital twin. In this bidirectional relationship, there are four different stages that complete the complete work flow for the creation of Smart Cities with regard to the geometrical basis:

- a. Data capture (SCAN to BIM): Thanks to sensors for the mass capture of reality, we can obtain project documentation that is fully exhaustive and located in the coordinate grid where the project will be located. Different existing tools and technologies are included in order to measure the current state of cities and thus transfer the real city to the digital environment with all types of details and great precision:
- b. BIM Modelling: The information obtained via the reality capture systems is the geometrical basis for carrying out the BIM modelling, as it is used to model all the elements that comprise the city in a way that is completely faithful to reality. Having generated the digital twin, it is possible to work on it in order to simulate different improvements and optimizations.
- c. Office to field (BIM to FIELD): Having made the modifications to the digital twin of the city, it is necessary to transfer them to reality in order to be able to implement these changes (already tested out in the virtual world) in the real city.
- d. As Built check: After the project implementation it is necessary to have a model of the completion of work with all levels of detail, in order to verify that all the design requirements have been fulfilled and to prevent both economic and quality deviations. For that purpose, it is necessary to once again carry out measurements using reality capture tools and check if there are differences with the virtual city that you wish to build. It is necessary to carry out checks at the different stages of the modifications to ensure that these changes have been implemented correctly.

Figura 2.
Sistemas de captura de realidad de Leica Geosystems (Leica Geosystems, 2018)



d. As Built check: Tras la ejecución del proyecto es necesario poder disponer de un modelo de fin de obra con todo nivel de detalle, para poder comprobar que se han cumplido con todos los requisitos del diseño y evitar desviaciones tanto económicas como de calidad. Para ello es necesario volver a realizar mediciones con las herramientas de captura de realidad y comprobar si existen diferencias con la ciudad virtual que se quiere construir. Es necesario realizar las comprobaciones en las diferentes etapas de la modificación que estos cambios se ejecutan correctamente.

4. Análisis de las tecnologías

a. Captura de datos (Scan to BIM)

El primer paso para diseñar ciudades cada vez más inteligentes y sostenibles, pasa por conocer el estado actual de estas, y realizar su copia en el mundo digital para poder simular las diferentes mejoras y optimizaciones. Es aquí donde comienza la primera de las numerosas aportaciones de los sistemas de captura de realidad.

Existen diferentes herramientas para obtener nubes de puntos que representan la realidad con detalle y precisiones milimétricas, la mayoría de ellas basadas en la tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging) o técnicas fotogramétricas. La tecnología LIDAR permite medir millones de puntos por segundo, pudiendo ir embarcada en diferentes plataformas dependiendo de las características de la zona que se quiere capturar en 3D.

Entre ellos destacan los sistemas UAV, los laser escáner 3D estáticos y el Mobile Mapping (ya sea en un vehículo o en una mochila) entre otros. Combinando estos sistemas, se puede llegar a obtener una nube de puntos que representa el estado actual de una ciudad en su totalidad.

También hay que destacar el uso del georradar para poder identificar tuberías, líneas eléctricas ubicadas en el subsuelo. Estos sistemas son de gran im-

4. Analysis of technologies

a. Data capture (Scan to BIM):

The first step in order to design increasingly smart and sustainable cities involves finding out the current state of them, and making a copy of them in the digital world in order to simulate the different improvements and optimizations. This is where the first of the many contributions of reality capture systems begins.

There are different tools for obtaining point clouds that represent reality in detail and pinpoint accuracy, most of them are based on LIDAR technology (Light Detection and Ranging) or photogrammetric techniques. LIDAR technology makes it possible to measure millions of points per second, and it can be loaded onto different platforms depending on the characteristics of the area that you can wish to capture in 3D.

These notably include UAV systems, 3D static laser scanners and Mobile Mapping (whether in a vehicle or in a backpack) among others. By combining these systems, it is possible to obtain a point cloud that represent the current state of a city in its totality.

It is also necessary to highlight the use of georadar to identify piping or power lines located underground. These systems are highly important to find out what is beneath the ground before starting to carry out any kind of work.

b. BIM

It is possible to define BIM (Building Information Modeling) as a working method that enables the integral management of construction projects, in all of their phases and during the complete life cycle of a building or city, through virtual models and in a collaborative way between the different agents involved.

One of the greatest benefits of working in BIM is the modelling of three-dimensional buildings in real



Figura 3.
Modelado BIM de la ciudad
de Ayacucho (C95 Creative,
2018).

portancia para saber lo que hay debajo de la tierra antes de comenzar a realizar ningún tipo de obra.

b. BIM

Se puede definir BIM (Building Information Modeling) como una metodología de trabajo que permite la gestión integral de los proyectos de construcción, en todas sus fases y durante el ciclo de vida completo de un edificio o ciudad, por medio de modelos virtuales y de forma colaborativa entre los diferentes agentes intervinientes.

Una de las mayores ventajas de trabajar en BIM es el modelado de edificios tridimensionales en tiempo real, con lo que en un único archivo podemos ver todo el edificio en sus diferentes plantas, secciones, axonometría o cualquier tipo de vista. De esta manera se optimiza el tiempo y los recursos tanto en el proceso de diseño como constructivo.

BIM implica la ubicación geográfica, la forma espacial, la geometría, cantidades y propiedades de todos los componentes de un edificio. Está concebido para que todos los agentes estén implicados en un solo modelo, empezando con el estado actual y su demolición hasta el proceso completo de mantenimiento del edificio. Es por ello que todos los arquitectos, ingenieros y profesionales de la construcción tienen que formar parte de esta metodología. En un proyecto BIM estará el estado actual, la posible restauración, la arquitectura, las estructuras, las instalaciones, el interiorismo... De esta manera todo funciona como un todo y es fácilmente extraíble las cantidades de materiales y las propiedades comparadas.

La información obtenida a través de los sistemas de captura de realidad es la base geométrica para el desarrollo del modelado BIM, ya que se utiliza para modelar de una manera totalmente fiel a la realidad todos los elementos que componen la ciudad. Una vez generado el gemelo digital, es posible trabajar sobre este para poder simular las diferentes mejoras y optimizaciones.

time, whereby in a single file we can see the entire building across its different floors, sections, axonometry or via any type of view. Thus, time and resources are optimized in both the design and construction processes.

BIM involves the geographic location, spatial form, geometry, quantities and properties of all the components of a building. It is devised so that all the agents are involved in a single model, beginning with the current state and its demolition up to the complete maintenance process of the building. That is why all the architects, engineers and construction professionals have to form part of this method. A BIM project will include the current state, possible restoration, architecture, structures, facilities, interior design... Thus, everything functions as a whole, and the quantities of materials and shared properties can be extracted easily.

The information obtained via the reality capture systems is the geometrical basis for carrying out the BIM modelling, as it is used to model all the elements that comprise the city in a way that is completely faithful to reality. Having generated the digital twin, it is possible to work on it in order to simulate different improvements and optimizations.

c. BIM to field

Current technology makes it possible to transfer the digital environment to reality through different tools, and total stations are the most common. These systems are compatible with the standard formats that are used on

CAD and BIM (.dxf, .ifc,...), therefore it is possible to load the designs created on the digital twin onto this equipment, and thus be able to position the modifications in the real world with great precision.

d. As built

As built plans are the definitive plans of a finished work, which include all the changes made since the



Figura 4.
Sistemas de replanteo de
Leica Geosystems (Leica
Geosystems, 2019).

c. BIM to field

La tecnología actual permite trasladar el entorno digital a la realidad a través de diferentes herramientas, siendo las estaciones totales las más habituales. Estos sistemas son compatibles con los formatos estándares que se utilizan en CAD y BIM (.dxf, .ifc,...), por lo que es posible cargar los diseños realizados en el gemelo digital en estos equipos y así poder situar las modificaciones en el mundo real con una gran precisión.

d. As built

Los planos As built, son planos definitivos de una obra terminada, donde se contemplan todos los cambios que sufrió desde la planificación inicial. La importancia de la veracidad de estos planos es que estos serán la base para cualquier nuevo proyecto que quiera echarse a andar sobre la obra, como remodelaciones, instalaciones de nuevos equipos, o evaluaciones.

Para realizar esta documentación de manera precisa y con detalle es necesario volver a realizar mediciones con las herramientas de captura de realidad y comprobar si existen diferencias con la ciudad virtual que se quiere construir. Es necesario realizar las comprobaciones en las diferentes etapas de la modificación que estos cambios se ejecutan correctamente.

5. Caso de aplicación real – ciudad de Ayacucho (c95)

La empresa C95 Creative comenzó el modelado digital 3D de la ciudad peruana de Ayacucho en 2017. Para llevar a cabo la tarea de generar un levantamiento digital preciso que sirviera como base para un modelo digital de la ciudad, tomaron nubes de puntos georreferenciadas con imágenes de 150 calles en el centro histórico de la ciudad.

initial planning. The importance of the veracity of these plans is that they will be the basis for any new project you wish to carry out on the work, such as remodeling, the installation of new equipment, or evaluations.

In order to create this documentation precisely and in detail, it is necessary to once again carry out measurements using reality capture tools and check if there are differences with the virtual city that you wish to build. It is necessary to carry out checks at the different stages of the modifications to ensure that these changes have been implemented correctly.

5. Real case study – city of Ayacucho (c95)

The company C95 Creative began 3D digital modelling of the Peruvian city of Ayacucho in 2017. In order to carry out the task of generating a precise digital survey that would be the basis for a digital city model, they took georeferenced point clouds with images from 150 streets in the historic city center.

The quality and precision of the point cloud with overlaid images allowed C95 Creative to:

- Create a 3D model of the entire city center
- Complete a catalogue of the main city elements
- Develop a study of the current situation and state of conservation
- Carry out an assessment of the heritage and a conservation study
- Produce an updated 3D cadastral and geometric data base with real dimensions
- Generate videos and images of the city to serve as a reference for future intervention works.

La calidad y precisión de la nube de puntos con imágenes sobrepuestas permitió a C95 Creative lo siguiente:

- Crear un modelo 3D para todo el centro de la ciudad
- Completar un catálogo con todos los elementos urbanos principales
- Desarrollar un estudio de la situación actual y el estado de conservación
- Llevar a cabo una valoración del patrimonio y un estudio de conservación
- Generar una base de datos 3D catastral y geométrica actualizada con dimensiones Reales
- Generar videos e imágenes de la ciudad que sirvan como referencia para futuros trabajos de intervención.

To capture the entire center of Ayacucho, C95 Creative started the data collection with the Leica 'Pegasus Two' mobile mapping system. Using this mobile mapping sensor platform, data from a 50-kilometre trajectory was collected in three days. Laser scanning was done with the 3D Leica ScanStation P40, to increase the level of detail of the pedestrian areas and those with cultural heritage assets.

The data was processed and exported to Autodesk Revit, BIM software. Leica Cyclone 3D point cloud post processing software, was used to post process the point clouds

The 3D models delivered by C95 Creative will be the basis for any architectural intervention within the area, guiding the cultural heritage evaluations and reconstruction of protected city elements, which could degrade over time.

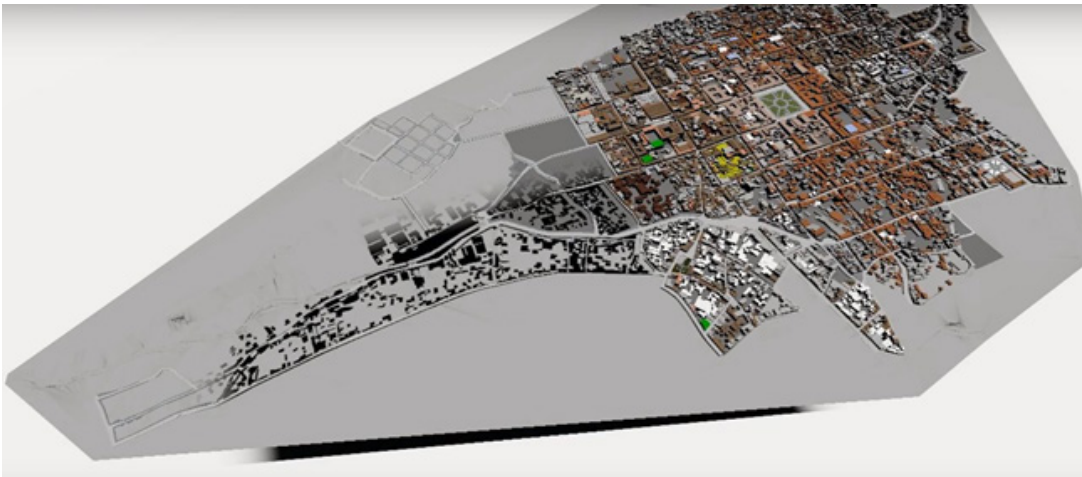


Figura 5.
Smacity de Ayacucho
creada por C95 Creative (C95
Creative, 2018).



Figura 6.
Captura de realidad de
entorno urbano (C95
Creative, 2018).

Para capturar todo el centro de Ayacucho, C95 Creative comenzó la toma de datos con el sistema de Mobile mapping de Leica 'Pegasus Two'. Con esta plataforma de sensor móvil para el mapeo, los datos de una trayectoria de 50 km se tomaron en tres días. El escaneo láser se llevó a cabo con el modelo de escáner 3D Leica ScanStation P40, para incrementar el nivel de detalle de las áreas peatonales y con recursos de patrimonio cultural.

Los datos fueron procesados y exportados a Autodesk Revit, un software de BIM. El software para post proceso de nubes de puntos 3D, Leica Cyclone, se usó para el post proceso de las nubes de puntos

Los modelos 3D generados por C95 Creative serán la base de cualquier intervención arquitectónica dentro del área, que servirán como guía para las evaluaciones del patrimonio cultural y la reconstrucción de los elementos protegidos de la ciudad, los cuales se podrían ver afectados con el paso del tiempo.

Más allá del valor del patrimonio cultural, los resultados también han sido usados para otros propósitos como:

- Realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) de Ayacucho
- Visualización previa de los planes
- Simulaciones urbanas
- Aplicaciones turísticas
- Análisis de mejoras urbanas

6. Conclusiones

Son evidentes las ventajas que aporta la creación de gemelos digitales de las ciudades para poder realizar una administración automática y eficiente de las infraestructuras urbanas, con el objetivo de poder crear nuevos servicios que respondan mejor a las necesidades específicas de cada urbe y la posibilidad de identificar los inconvenientes futuros a los que puede llegar a enfrentarse el espacio urbano.

Las nuevas tecnologías de captura masiva de datos permiten adquirir datos reales y precisos de las ciudades reduciendo los tiempos y costes de adquisición en comparación con las técnicas y equipos tradicionales. Sin estas tecnologías sería imposible poder trasladar la realidad al mundo virtual con todo tipo de detalle y máxima precisión. Por otra parte, la combinación de los diferentes sistemas UAV, Mobile mapping, georadar ...) permite digitalizar una ciudad al completo, lo que posibilita la creación de su gemelo digital con todos los elementos existentes en la realidad.

También hay que destacar la importancia de las

Beyond the cultural heritage value, the deliverables have also been used for other purposes, such as:

- Virtual reality (VR) and augmented reality (AR) of Ayacucho
- Previsualization of plans
- Urban simulations
- Touristic applications
- Analysis of urban improvements

6. Conclusions

There are clear benefits offered by creating digital twins of cities in order to carry out automatic and efficient administration of urban infrastructures, with the aim of creating new services that are better at meeting the specific needs of each city and the chance to identify future problems that the urban space may face.

New technologies for the mass capture of data make it possible to acquire real and precise data about cities while reducing the acquisition times and costs in comparison with traditional techniques and equipment. Without these technologies it would be impossible to transfer reality to the virtual world with all kinds of detail and maximum precision. On the other hand, the combination of different UAV, Mobile mapping and georadar systems...) makes it possible to fully scan a city, which enables the creation of its digital twin with all the elements that exist in reality.

It is also necessary to highlight the importance of technologies that make it possible to transfer the improvements made in the digital twin to the real world, as without them all the improvements made would remain in the virtual world without the option of transferring them to reality.

In the specific case of the city of Ayacucho, these massive capture tools enabled the development of the project, since without the use of these technologies it would have been impossible to digitalize the entire city. The possibility of digitalizing the city in just a few weeks allowed to reduce the data collection field days, significantly reducing the final cost of the project.

The massive measurement techniques allowed to obtain the geometry of all the structures that make up the city with all kinds of detail, making possible to make a high quality BIM model that represent the current state of the city in detail.

On the other hand, the speed of data collection allowed working with highly updated high-precision data. In this case, highlight the use of mobile mapping, the 3D scanner located in a vehicle, allowed di-

tecnologías que permiten trasladar las mejoras realizadas en el gemelo digital al mundo real, ya que sin ellas todas las mejoras realizadas se quedarían en el mundo virtual sin posibilidad de que se trasladaran a la realidad.

En el caso concreto de la ciudad de Ayacucho, fueron estas herramientas de captura masiva las que posibilitaron el desarrollo del proyecto, ya que sin el uso de estas tecnologías hubiese sido imposible realizar la digitalización de la ciudad al completo. La posibilidad de digitalizar la ciudad en apenas unas semanas permitió disminuir las jornadas de campo de toma de datos, reduciendo significativamente el coste final del proyecto.

Las técnicas de medición masiva permitieron obtener la geometría de todas las estructuras que componen la ciudad con todo tipo de detalle, posibilitando realizar un modelo BIM de alta calidad que representaba al detalle el estado actual de la ciudad.

Por otra parte, la rapidez en la toma de datos permitió trabajar con datos de gran precisión totalmente actualizados. En este caso, destacar el uso del mobile mapping, el escáner 3D ubicado en un vehículo, ya que permitió digitalizar 50 km de la ciudad en apenas 3 días.

gitalizing 50 km of the city in just 3 days.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Leica Geosystems, Reality Capture (Mayo de 2019): <https://leica-geosystems.com/es-es/industries/reality-capture>
- [2] Leica Geosystems, Transforming Ayacucho into a digital city (Mayo de 2019): <https://leica-geosystems.com/es-es/about-us/news-room/customer-magazine/reporter-83/01-transforming-ayacucho-into-a-digital-city>
- [3] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (Mayo de 2019): <http://www.oecd.org/centrodemexico/medios/49912980.pdf> ; <https://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/internationellt-miljoarbete/multilateral/oecd/outlook-2050-oecd.pdf>
- [4] Smart Cities, Ranking of European medium-sized cities. Final report. Vienna University of Technology, Delft University of Technology, University of Ljubljana. Edición: Centre of Regional Science, Vienna UT, 2007
- [5] Análisis de las Ciudades Inteligentes de España. IDC. Edición: IDC, 2011.
- [6] Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas. Fundación Telefónica. Edición: Fundación Telefónica y Editorial Ariel, 2011.
- [7] Balance Energético 2010. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía (IDAE). Edición: IDAE, 2010.
- [8] Asian Green City Index. Economist Intelligence Unit, Siemens. Jason Sumner, Economist Intelligence Unit, Londres, 2011.
- [9] European Green City Index. Economist Intelligence Unit. James Watson, Economist Intelligence Unit, Londres, 2009.
- [10] US and Canada Green City Index. Economist Intelligence Unit. Edición: Jason Sumner, Vanessa Barchfield, Economist Intelligence Unit, Londres y Viena, 2011.
- [11] Mapa Tecnológico Ciudades Inteligentes. Observatorio Tecnológico de la Energía (IDAE). Edición: IDAE, 2012.
- [12] The Business of Cities. Greg Clark, Tim Moonen. Edición: 2011
- [13] Informe sobre Informe sobre La tendencia inteligente de las ciudades en España, Asociación Española de Ingenieros en Telecomunicación: https://www.coit.es/sites/default/files/informes/pdf/2018-01-30_coit_grupo_scsr_informe_tendencia_smart_version_final.pdf
- [14] Estudio del estado actual de las Smart Cities en España, Domotys, 2015: [http://news.secartys.org/doc/Adri%C3%A0/Estudio%20del%20estado%20actual%20de%20las%20Smart%20Cities%20en%20Espa%C3%B1a%20\(1\).pdf](http://news.secartys.org/doc/Adri%C3%A0/Estudio%20del%20estado%20actual%20de%20las%20Smart%20Cities%20en%20Espa%C3%B1a%20(1).pdf)
- [15] "El nuevo rol de las ciudades" La Smart City: el verdadero reto del S.XXI Desarrollo y Planificación Estratégica de la Ciudad Inteligente, Francisco Javier Carrillo Guajardo-Fajardo, 2018: http://www3.uah.es/iaes/publicaciones/DT_09_18.pdf.
- [16] The Smart City Cookbook, A Recipe for Successful Smart City Programs, Nick Cotton, 2018.

Construcción de prototipo de invernadero para precalentar el aire de ventilación y obtener ahorros energéticos en los edificios

Construction of greenhouse prototype to preheat the ventilation air and obtain energy savings in buildings

Joseba Gainza-Barrencua¹, M. Odriozola-Maritorena², R. Hernández-Minguillón¹, I. Gómez-Arriaran²

ABSTRACT

Instalando invernaderos en la cubierta de los edificios es posible precalentar el aire de ventilación reduciendo las pérdidas provocadas por la renovación de aire y disminuyendo la demanda de calefacción. Se han diseñado unos módulos de invernadero optimizados para obtener los mayores ahorros energéticos posibles, que se pueden ir acoplando entre sí para formar un único invernadero mayor, lo que permite mejorar su adaptabilidad a distintos emplazamientos en las cubiertas de los edificios y a las necesidades energéticas de diferentes tipos de edificios. Con el fin de profundizar en el diseño de este sistema, se ha construido un prototipo de uno de estos módulos en la terraza de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU).

El módulo cuenta con una sección con forma de triángulo rectángulo, con la hipotenusa totalmente acristalada y orientada al sur para captar la mayor radiación solar posible y con el resto de las superficies opacas y aisladas para evitar las pérdidas térmicas. Se ha construido mediante una estructura de chapa galvanizada plegada que a su vez sirve de envoltorio a la que se ha añadido paneles de aislamiento mediante un aglomerado de corcho expandido de 8 cm de espesor. Para cerrar la zona orientada al sur se ha colocado un vidrio doble bajo emisivo sobre la subestructura metálica.

Con el objetivo de que el prototipo opere bajo condiciones reales, se ha acoplado un sistema de ventilación cuyo ventilador es regulado mediante un potenciómetro. Este ventilador introduce el aire exterior por la zona inferior del módulo y una vez precalentado, sale a través de una rejilla situada en la parte superior de la cara opuesta del cerramiento.

Para poder monitorizar su comportamiento se ha dotado al prototipo de distintos sensores. La variación temperatura del aire se mide mediante sensores colocados a la entrada y la salida del mismo, y en dos puntos del espacio interior. Con el objetivo de analizar la resistencia térmica de la envoltorio opaca, se han instalado a ambos lados del cierre sensores de temperatura superficial. Por último, se han instalado, dos termoanemómetros de hilo caliente (a la entrada y salida del aire) para determinar el caudal de aire que se introduce en el invernadero. Todos estos datos se recogen mediante un adquisidor de datos situado en la parte trasera del prototipo.

Estos datos servirán para caracterizar el comportamiento térmico del invernadero. Además, los datos registrados permitirán calibrar los modelos matemáticos desarrollados, y de esta forma, estimar la reducción de la demanda de calefacción y el consumo energético asociado a la renovación de aire en otro tipo de edificios, situaciones y configuraciones del invernadero.

Key Words: invernadero, ahorro energético, prototipo, ventilación, captación solar

(1) Department of Architecture, UPV/EHU, +34 637181175, joseba.gainza@ehu.eus. (2) Research group ENEDI, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU.

1. Introducción

El consumo energético de los edificios del sector residencial y terciario supone en torno al 40% del consumo total en los países desarrollados [1], por lo que construir edificios eficientes es fundamental para reducir el consumo energético total.

Con el objetivo de lograr edificios de consumo de energía casi nulo, las edificaciones cada vez se realizan más aisladas y herméticas, lo que hace necesario instalar algún sistema de ventilación, ya que una adecuada calidad del aire interior está relacionada con la salud y el confort de los ocupantes del edificio [2,3,4]. Esta necesidad de ventilación, no obstante, produce un aumento de la demanda energética. Según Orme [5] que analizó el consumo anual de energía debido a la renovación de aire en el sector comercial y residencial de 13 países industrializados, supone aproximadamente el 48% del consumo por calefacción. Awbi [6], a su vez, establece que el porcentaje asociado a la ventilación se encuentra entre el 30 y 60% del total. Además, a medida que los edificios se construyen térmicamente más eficientes (con un nivel de aislamiento térmico y de hermeticidad mayor) este porcentaje aumenta, por lo que, el potencial de ahorro energético que presenta la ventilación es muy importante.

El uso de invernaderos adosados a las fachadas para reducir el consumo energético de los edificios es común en lugares y climas diferentes. En estos sistemas pasivos, cuando los rayos del sol atraviesan el acristalamiento del espacio solar, la radiación es absorbida por los elementos de su interior, que se calientan, emitiendo radiación de onda larga que no puede salir a través del vidrio, lo que provoca el calentamiento del espacio interior. Ese calor se aprovecha para calentar el interior del edificio o al menos como colchón térmico entre el interior y el exterior, reduciendo, de esta manera, el consumo energético. Distintos estudios publicados muestran cómo mediante el uso de invernaderos adosados a los edificios se obtienen importantes ahorros energéticos a la hora de calefactar los edificios [7,8,9,10 y 11]. En verano, sobre todo en los climas más cálidos es necesario ventilar y sombrear los invernaderos para evitar el sobrecalentamiento.

A pesar de que el uso de invernaderos adosado a las fachadas de los edificios ha sido ampliamente analizado, su instalación en la cubierta, en cambio, no ha sido tan estudiada a pesar de tener una serie de ventajas. El edificio ICTA-ICP de la Universidad Autónoma de Barcelona, por ejemplo, cuenta con invernaderos en su cubierta, donde se aprovecha el calor residual del edificio, la concentración de CO₂ en el aire residual del edificio y el agua de lluvia recolectada para mejorar el cultivo de vegetales de los invernaderos [12,13]. Además de los beneficios que puede suponer para el cultivo de vegetales, instalar estos invernaderos en las cubiertas, al igual que ocu-

1. Introduction

The energy consumption of buildings in the residential and tertiary sector accounts for around 40% of total consumption in developed countries [1]. Consequently, building efficient constructions is essential to reduce total energy consumption.

With the aim of achieving nearly zero energy buildings (nZEB), the constructions are being built more and more isolated and airtight, which means that installing a ventilation system is required, because indoor air quality is related to the health and comfort of the occupants of the building [2,3,4]. This need for ventilation, however, produces an increase in energy demand. According to Orme [5], who analyzed the annual energy consumption due to the renewal of air in the commercial and residential sector of 13 industrialized countries, it represents approximately 48% of the heating consumption. Awbi [6], in turn, establishes that the percentage associated with ventilation is between 30 and 60% of the total. In addition, this percentage increases as the buildings are constructed more thermal efficient (with a higher level of thermal insulation and hermeticity), so that the energy-saving potential of ventilation is a major aspect.

The use of greenhouses attached to the facades in order to reduce the energy consumption of buildings is common in different places and climates. In these passive systems, when the sun's rays pass through the glass of the solar space, the radiation is absorbed by the elements of its interior, heating them up. Those objects emit long-wave radiation that cannot escape through the glass, which causes the heating of the interior space. This heat is used to warm the interior of the building or at least as a thermal buffer between the interior and exterior, thus reducing energy consumption. Different published studies show how significant energy savings heating buildings are obtained using attached greenhouses [7,8,9,10 y 11]. In summer, especially in hot climates, it is necessary to ventilate and shade those sunspaces in order to avoid overheating.

Although the use of greenhouses attached to the facades of buildings has been widely analyzed, their installation on the roof, however, has not been so much studied. An example of this use can be found in the building ICTA-ICP of the Autonomous University of Barcelona, where the residual heat of the building, the concentration of CO₂ in the building's residual air and the collected rainwater are used to improve the crop of vegetables in the greenhouse situated on the roof [12,13]. In addition to the benefits of planting vegetables, installing these sunspaces on the roofs can also achieve great energy savings for the building as does the glazed galleries and the greenhouse attached to the facade. What is more, they have significant advantages over the sunspaces placed on the facade. Its installation on

re con los adosados a las fachadas, también puede lograr grandes ahorros energéticos para el edificio. Además, cuentan con importantes ventajas con respecto a los adosados a fachadas. Su instalación en cubierta permite realizar el acristalamiento con el ángulo que se desee, lo que posibilita que las ganancias solares sean mayores. A su vez, al colocarlos en cubierta, la forma y el volumen del invernadero no están tan limitados. Además, en las cubiertas existen menos exigencias estéticas y urbanísticas. La posibilidad de que otros edificios o elementos sombreen el invernadero también es menor. Por otra parte, como el sistema de ventilación mecánica habitualmente coge el aire de admisión en la cubierta, es posible utilizar el invernadero para precalentar dicho aire e introducirlo en el interior del edificio de una manera fácil y eficaz. Por último, cuando el invernadero se instala en la cubierta en lugar de en las fachadas es mucho más fácil prevenir el sobrecalentamiento que se puede dar en los veranos de los climas cálidos. Con tapar el invernadero o desconectarlo del sistema de ventilación es suficiente para evitar el sobrecalentamiento.

La prefabricación a la hora de construir estos invernaderos supone una serie de ventajas: se obtiene un nivel homogéneo de calidad, la seguridad para los trabajadores aumenta y los tiempos de ejecución y los costes también se reducen. Además, Tam et al analizan como las obras industrializadas pueden reducir los desechos, lo que supone también una mejora en la sostenibilidad [14].

En trabajos anteriores, se analizó mediante simulaciones energéticas como con la instalación de un invernadero en la cubierta de un edificio situado en Sarriguren (Navarra) se obtenían ahorros significativos en el consumo energético de calefacción durante el invierno, llegando a alcanzarse ahorros del 65% una vez optimizado el invernadero. En esos estudios se analizaban cómo afectan las características constructivas del invernadero en las temperaturas alcanzadas en su interior y, por tanto, en el aire introducido para ventilación en las viviendas. Los resultados obtenidos se presentaron en el 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (EESAP 8) y 1er Congreso Internacional de Construcción Avanzada (CICA 1) [15].

También se analizó el grado de inclinación que debe tener el acristalamiento orientado al sur para que el invernadero tenga las mayores ganancias solares posibles en función de su emplazamiento para lo que se analizaron distintas ciudades europeas. Los resultados que se presentaron en el 9º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo (EESAP 9) y 2º Congreso Internacional de Construcción Avanzada (CICA 2), muestran que para la mayor parte de Europa el ángulo de acristalamiento con el que se obtiene mayores ganancias solares es de 55º [16].

the roof, allows to place the glazing with the angle that is wanted, which makes solar gains greater. In turn, when they are on the roof, the shape and volume of the sunspaces are not so limited. In addition, there are less aesthetic and urbanistic requirements. The possibility that other building or elements shade the greenhouse is also smaller. On the other hand, since the mechanical ventilation system usually has its intake system on the roof, it is possible to use the greenhouse to preheat that air. The use of the ventilation system allows the introduction of preheated air inside the building in an easy and efficient way. Finally, when the sunspace is installed on the roof it is much easier to prevent the overheating that could occur in the summers of hot climates than when it is installed on facades. Covering the greenhouse or disconnecting it from the ventilation system is enough to avoid overheating.

The prefabrication at the time of constructing these greenhouses supposes some advantages: it obtains a homogenous level of quality, the security of the workers increases and the times of execution and the costs are also smaller. In addition, Tam et al analyze how industrialized works can reduce waste, which also implies an improvement in sustainability [14].

In previous works, it was analyzed by energy simulations how the installation of a greenhouse on the roof of a building located in Sarriguren (Navarra) supposed significant savings in the heating energy consumption during the winter, reaching savings of 65% once the greenhouse was optimized. These studies showed how the construction characteristics of the greenhouse affect the temperatures reached inside and, therefore, in the air introduced in homes for ventilation. The results obtained were presented at the 8th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urbanism (EES-AP 8) and 1st International Congress on Advanced Construction (CICA 1) [15].

The degree of inclination that the south-facing glazing must have so that the greenhouse has the highest solar gains as possible depending on its location, was also analyzed. To do this, different European cities were studied. The results presented at the 9th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urbanism (EES-AP 9) and 2nd International Congress on Advanced Construction (CICA 2), show that for most of Europe the angle of glazing with which you get higher solar gains is 55º [16].

The objective of this work is to analyze the construction of a real greenhouse prototype that serves to preheat the ventilation air. The type of sensors and instruments needed and how they should be installed to characterize their thermal behavior will also be analyzed. The data collected through its monitoring will serve in future work for the calibration of the

El objetivo del presente trabajo es analizar la construcción de un prototipo real de invernadero que sirva para precalentar el aire de ventilación. Se analizará también el tipo de sensores e instrumentos necesarios y cómo se deben instalar para caracterizar su comportamiento térmico. Los datos recogidos mediante su monitorización servirán en futuros trabajos para el calibrado de los modelos matemáticos desarrollados.

2. Descripción del invernadero

Con el objetivo de precalentar el aire de ventilación y obtener ahorros energéticos, se han diseñado unos módulos de invernadero que se pueden ir acoplando entre sí para formar un único invernadero mayor, lo que permite mejorar su adaptabilidad a distintos emplazamientos en las cubiertas de los edificios y a las necesidades energéticas de diferentes tipos de edificios.

El módulo se ha diseñado con una sección con forma de triángulo rectángulo, con la hipotenusa totalmente acristalada y orientada al sur para captar la mayor radiación solar posible y con el resto de las superficies opacas y aisladas para evitar las pérdidas térmicas. El ángulo del acristalamiento se ha establecido en 55° con respecto a la horizontal ya que, según estudios realizados con anterioridad [16], es el ángulo con el que se obtienen mayores ganancias solares y por tanto, mejores rendimientos.

Para determinar el tamaño del módulo se han tenido en cuenta las dimensiones comerciales estándar del vidrio (1,25m x 2,5m), lo que ha supuesto que cada módulo tenga una anchura de 1,25m y una longitud del lado acristalado de 2,5m.

El aire exterior se introducirá por la parte inferior de un extremo del invernadero y una vez precalentado saldrá por la parte superior del otro extremo para

mathematical models developed.

2. Description of the greenhouse

In order to preheat the ventilation air and obtain energy savings, greenhouse modules have been designed. These modules can be coupled together to form a single bigger greenhouse, which allows improving their adaptability to different locations on the roofs of buildings and to the energy needs of different types of buildings.

The module has been designed with a right-angled triangle shape section, with the hypotenuse fully glazed and facing south to capture as much solar radiation as possible. The rest of the surfaces have been designed to be opaque and insulated to avoid thermal losses. The angle of the glazing has been set at 55° from the horizontal. According to previous studies [16], it is the angle with which greater solar gains are obtained and, therefore, better yields.

To determine the size of the module, the standard commercial dimensions of the glass (1,25m x 2,5m) have been considered, which has meant that each module has a width of 1,25m and a glass side length of 2,5m.

The outside air will be introduced through the lower part of one side of the greenhouse and after pre-heating it, the air will come out from the top of the other end in order to enter it into the building (see figure 1). In this way, when introducing the preheated air through the mechanical ventilation system, the thermal losses caused by the necessary ventilation will be reduced.

A heat recovery system can be attached between the expulsion air from the building and the air to be introduced into the greenhouse. This would mean that higher temperatures were reached in the gre-

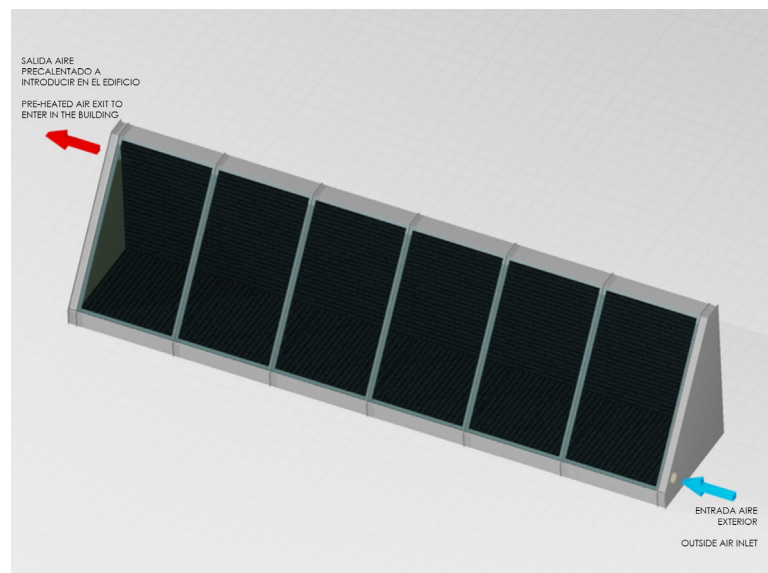


Figura 1. Esquema de funcionamiento del invernadero.

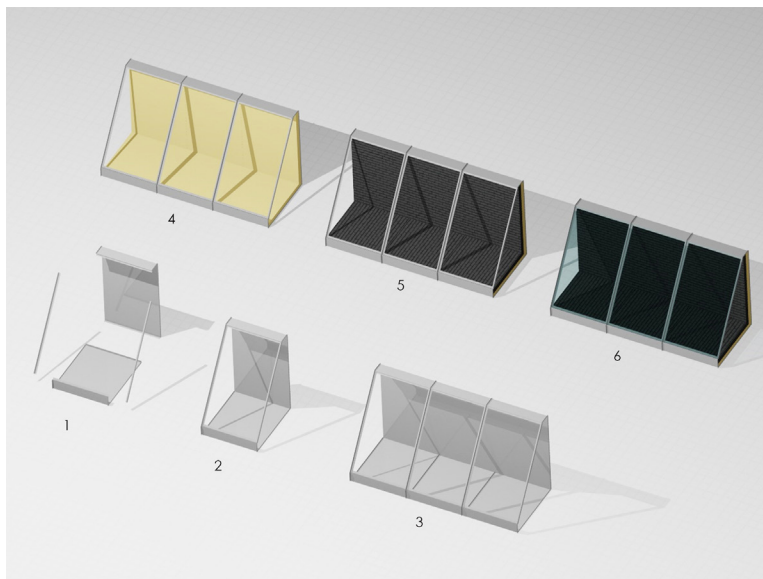


Figura 2. Esquema del proceso constructivo del invernadero: Paso 1, piezas de chapa plegada de cada módulo. Paso 2, Estructura de cada módulo. Paso 3, unión de módulos para formar un invernadero mayor. Paso 4, colocación de aislamiento. Paso 5, colocación de adoquín. Paso 6, Colocación de vidrio.

después introducirlo en el edificio (ver figura 1). De esta manera al introducir el aire precalentado mediante la ventilación mecánica, se reducirán las pérdidas térmicas que supone la necesaria ventilación del edificio para mantener una adecuada calidad del aire interior.

A este invernadero se le puede acoplar además un recuperador de calor entre la expulsión del aire viciado del edificio y el aire a introducir en el invernadero, lo que supondría que se alcanzaran temperaturas más altas, mejorando aún más la eficiencia del sistema.

En la figura 2 se muestra el proceso constructivo del invernadero. En el diseño y la elección de los materiales se ha tratado, en todo momento, de simplificar y abaratar el proceso constructivo. Cada módulo de invernadero cuenta con cuatro piezas de chapa galvanizada plegada que se atornillan entre sí para formar su estructura. Se ha optado por piezas de chapa plegada porque se trata de una solución económica que además de configurar la estructura sirven como cara exterior de la envolvente opaca. Cada pieza de chapa cuenta con pliegues para darles rigidez y facilitar la unión entre cada una de ellas. Las uniones atornilladas simplifican su puesta en obra. Una vez conformada la estructura de cada módulo, se pueden unir entre sí para formar un invernadero mayor del tamaño que se requiera. Después, en las superficies opacas de la envolvente (suelo y cara norte) se colocan los paneles de aislamiento mediante un aglomerado de corcho expandido para evitar pérdidas térmicas a través de la envolvente y alcanzar de esta manera, mayores temperaturas en el invernadero. En caso de querer darle inercia se pueden colocar adoquines de hormigón de color negro sobre el aislamiento. Se ha optado por utilizar adoquines debido a que, al ser pequeñas piezas de poco peso cada una que se pueden colocar sin mortero (a hueso), son fáciles de instalar. Una vez puesto el aislamiento

enhouse, improving the efficiency of the system.

Figure 2 shows the construction process of the greenhouse. In the design and choice of materials, the construction process has been tried to simplify and cheapen. Each greenhouse module has four pieces of folded galvanized sheet that are screwed together to form their structure. Pieces of folded steel sheet has been chosen because it is an economical solution that in addition to configuring the structure serve as the outer face of the envelope. Each piece of steel has folds to give them rigidity and to facilitate the union between each one of them. Bolted joints simplify its installation. Once the structure of each module is formed, they can be joined together to form a greenhouse bigger of the required size. Then, on the opaque surfaces of the enclosure (floor and north face) the insulation panels are placed by means of an expanded cork agglomerate in order to avoid thermal losses through the envelope and thus achieve higher temperatures in the greenhouse. If it is wanted to give inertia to the greenhouse, black concrete pavers can be placed on the insulation. It has been chosen to make use of concrete paving blocks because they are easy to install, being small pieces of low weight each that can be placed without mortar. Once the insulation and pavers are installed, the glass is placed in the south-facing area, supported by the metal structure. As is usually the case in Trombe walls, it has been decided that, in order to increase the absorptivity, the finish of the interior of the greenhouse should be dark.

3. Prototype built

In order to deepen the design of this system, a prototype of one of these modules has been built on the terrace of the School of Architecture of the University of the Basque Country (UPV / EHU). Figure 3 shows an image of the prototype.



Figura 3.
Imagen del prototipo
construido.

y los adoquines, se coloca el vidrio en la zona orientada al sur apoyado sobre la estructura metálica. Al igual que suele ocurrir en los muros Trombe, se ha elegido que el acabado del interior del invernadero sea de color oscuro para que aumente la absorptividad.

3. Prototipo construido

Con el fin de profundizar en el diseño de este sistema, se ha construido un prototipo de uno de estos módulos en la terraza de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU). En la figura 3 se muestra una imagen del prototipo.

Tras realizar un estudio de sombras del lugar, el módulo se ha orientado a sur y se ha buscado para su ubicación el lugar de la terraza en donde mayor radiación solar recibe.

Para la envolvente acristalada del prototipo se ha optado por colocar un vidrio doble bajo emisivo con la cámara rellena de argón con las siguientes características:

- Transmitancia térmica U_g : $1,4W/(m^2K)$
- Factor solar g : 59%

Para aislar la envolvente opaca del invernadero y evitar pérdidas térmicas, se eligió en un primer momento un poliestireno extruido de 12 cm de espesor y $0,034 W/(m^2K)$ de conductividad térmica y para aumentar su absorptividad se pintó de negro. El poliestireno extruido no aguantó las altas temperaturas alcanzadas en el invernadero. El aislamiento se sustituyó por un aglomerado de corcho de 8 cm de espesor de color oscuro con un coeficiente de con-

After carrying out a shadow study of the place, the module has been oriented to the south and has been placed where more solar radiation receives on the terrace.

For the glazed envelope of the prototype it has been chosen a double low emissive glass with the camera filled with argon with the following characteristics:

- Thermal transmittance U_g : $1.4W / (m^2K)$
- Solar factor g : 59%

To isolate the opaque envelope of the greenhouse, in the first moment, an extruded polystyrene of 12 cm thick and $0.034 W / (m^2K)$ of thermal conductivity was chosen and to increase its absorptivity it was painted black. Extruded polystyrene did not withstand the high temperatures reached in the greenhouse. The insulation was replaced by an 8 cm thick cork agglomerate of dark color with a thermal conductivity coefficient of $0.4 W / (m^2K)$ and greater thermal stability. This second insulation has had an adequate behavior, withstanding the high temperatures reached without problems and proving to be suitable for this type of greenhouse.

On this occasion, it has been decided not to place paving stones on top of the insulation to analyze the greenhouse without inertia. On future works, these elements of inertia will be incorporated and how it influences the behavior of the greenhouse will be analyzed.

In order for the prototype to operate under real conditions, a ventilation system has been incorporated by means of an axial fan of $160 m^3/h$ that is regulated by a potentiometer. This fan introduces the outside air through the lower area of the module and, once

ductividad térmica de $0,4 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})$ y una estabilidad térmica mayor. Este segundo aislamiento ha tenido un comportamiento adecuado aguantando sin problemas las altas temperaturas alcanzadas y demostrando ser idóneo para este tipo de invernaderos.

En esta ocasión, se ha optado por no colocar adoquines sobre el aislamiento para analizar el invernadero sin inercia. En futuros trabajos se incorporarán estos elementos de inercia y se analizará cómo influyen en el comportamiento del invernadero.

Con el objetivo de que el prototipo opere bajo condiciones reales, se ha acoplado un sistema de ventilación mediante un ventilador axial de $160 \text{ m}^3/\text{h}$ que es regulado mediante un potenciómetro. Este ventilador introduce el aire exterior por la zona inferior del módulo y una vez precalentado, sale a través de una rejilla situada en la parte superior de la cara opuesta del cerramiento. De esta manera, se simula el comportamiento que tendría en su funcionamiento habitual, donde el aire de admisión se precalentaría en el invernadero antes de introducirlo en las distintas estancias del edificio.

3.1. Monitorización

Para poder monitorizar su comportamiento se ha dotado al prototipo de distintos sensores. Para determinar el caudal de aire que se introduce en el invernadero, se han instalado, dos termoanemómetros de hilo caliente (a la entrada y salida del aire). Para evitar las turbulencias y poder medir correctamente este caudal se han instalado dos conductos de 350mm de diámetro y $1,5\text{m}$ de longitud a la entrada y la salida del aire. Es en la parte interior de estos conductos en donde se colocan los termoanemómetros como se observa en la figura 5.

Mediante un medidor de caudal electrónico modelo KIMO DMB610 C, se medirá el caudal de aire en cada posición del potenciómetro con precisión y se relacionará con las velocidades de aire medidas mediante los termoanemómetros. De esta manera se podrá medir el caudal de aire en cada momento en función de los datos que nos den los sensores de velocidad de aire.

La variación temperatura del aire se mide mediante sensores colocados a la entrada y la salida del mismo, y en un punto del espacio interior. Las características de estas sondas son las siguientes:

- Pt100, clase 1/3, 4 hilos
- Vaina acero inoxidable. AISI 316, $\varnothing 3\text{mm}$, longitud 50mm
- Rango de trabajo: -75°C a 250°C
- Salida directa crimpada

preheated, the air comes out through a grid located on the upper part of the opposite side of the enclosure. In this way, it simulates the behavior that would have in its normal operation, where the intake air would be preheated in the greenhouse before introducing it in the building.

3.1. Monitoring

In order to monitor its behavior, the prototype has been equipped with different sensors. To determine the air flow that is introduced into the greenhouse, two hot wire thermo-anemometers have been installed (at the entrance and exit of the air). To avoid turbulence and to be able to measure this flow correctly, two 350mm diameter and 1.5m long ducts have been installed at the entrance and exit of the air. It is in the inner part of these ducts where the thermo-anemometers are placed as shown in figure 5.

The air flow rate in each position of the potentiometer will be measured accurately by means of an electronic flow meter model KIMO DMB610 C. The air flow rate will be related to the air velocities measured by the thermo anemometers. In this way, the air flow can be measured at any time based on the data provided by the air velocity sensors.

The variation of air temperature is measured by sensors placed at the entrance and exit, and at a point in the interior space. The characteristics of these sensors are the following:

- Pt100, 1/3 class, 4 wire
- Sheath: 316 Stainless Steel 3mm diameter, 50mm longitude
- Working range: -75°C to 250°C
- Crimped direct output
- Multi-wire cable $4 \times 0.5\text{mm}$ isolated with PFA, T⁹.

Surface temperature sensors of the following characteristics have been installed on both sides of the envelope in order to analyze the thermal resistance of the enclosure:

- Pt100 flexible adhesive
- Silicone encapsulation
- Element class 1/3, 4 wires
- Isolated cable with PFA
- Dimensions: $30 \times 14 \times 3,4\text{mm}$

All this data is collected through a Datalogger model SenNet DL170. Two MODBUS RTD / RS485 Modules

- Cable multihilo 4x0,5mm aislado con PFA, T^a

Con el objetivo de analizar la resistencia térmica de la envolvente, se han instalado a ambos lados del cierre sensores de temperatura superficial de las siguientes características:

- Pt100 flexible adhesiva
- Encapsulado de silicona
- Elemento clase 1/3, 4 hilos
- Cable aislado con PFA
- Dimensiones: 30x14x3,4mm

Todos estos datos se recogen mediante un adquirente de datos modelo Datalogger SenNet DL170 al que se acoplan dos Módulos con 4 entradas RTD/RS485 MODBUS a los que se conectan los sensores de temperatura y un módulo ADAM-4017 a los que se conectan los termómetros. Tal y como se muestra en la figura 6, se ha instalado un armario en la parte trasera del módulo para albergar todos los aparatos de registro de los sensores.

4. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el prototipo el 22 y 23 de junio de 2019. En la figura 4 se muestran las temperaturas obtenidas a la entrada del aire exterior y a su salida tras pasar por el invernadero. Además, para poder analizar cómo influye la radiación solar en este tipo de sistemas se muestran también los datos de irradiación solar de estos días según datos de Euskalmet, la Agencia Vasca de Meteorología.

Tal y como se muestra en la figura 4, gracias al invernadero se incrementa significativamente la temperatura del aire a la salida de este durante las horas centrales del día, es decir cuando más radiación solar hay. A la noche en cambio, debido a la falta de inercia, las temperaturas a la salida del invernadero descienden hasta casi llegar a las temperaturas exteriores. De 4:30 a 7:00 del 23 de junio, las temperaturas a la salida llegan a ser incluso inferiores que las registradas a la entrada.

En la figura 5, se muestran las temperaturas superficiales de los cerramientos. En azul se indican las temperaturas registradas mediante los sensores colocados en el cerramiento norte del invernadero: el azul más oscuro muestra la temperatura de su cara interior, mientras que el más claro indica las temperaturas del cerramiento en el mismo punto, pero en su cara exterior. En rojo se muestran las temperaturas en ambas caras del vidrio, siendo el rojo más oscuro la temperatura de la cara interior y el más claro la de la cara exterior. Como se observa en la figura 5, gracias al aislamiento colocado las diferencias de

with 4 inputs to which the temperature sensors are connected and an ADAM-4017 module to which the thermo-anemometers are connected are coupled to this device. As shown in Figure 6, a cabinet has been installed on the back of the module to protect all the recording devices.

4. Results

The results obtained on 22 and 23 June 2019 in the prototype are shown below. Figure 4 shows the temperatures obtained at the entrance of the outside air and at the exit after passing through the greenhouse. In addition, in order to analyze how solar radiation influences this type of system, the solar irradiation data of these days collected by Euskalmet (Basque Meteorological Agency) is also shown.

As shown in figure 4, thanks to the sunspace, the temperature of the air at the exit is significantly increased during the central hours of the day, that is, when there is more solar radiation. At night instead, due to the lack of inertia, the temperatures at the exit of the greenhouse descend to almost the outside temperatures. From 4:30 a.m. to 7:00 a.m. on June 23, the temperatures at the exit become even lower than those registered at the entrance.

In figure 5, the surface temperatures of the enclosures are shown. The temperatures recorded by the sensors placed in the northern enclosure of the sunspace are shown in blue: the darker blue shows the temperature of its inner face, while the lighter indicates the temperatures of the envelope at the same point, but on its outer face. The temperatures on both sides of the glazing are shown in red. The temperature of the inner face is represented by the darker one while the temperature of the outer face is shown by the lighter one. As can be seen in figure 5, thanks to the placed insulation, the temperature differences between the inner and outer faces are very high. These surface temperature data will be used to determine the thermal transmittance of the enclosure and therefore the thermal losses that occur in the enclosure.

5. Conclusions and future work

As expected, the recorded temperatures show that, thanks to the greenhouse effect, the ventilation air to be introduced into buildings can be preheated. Although during the day very high temperatures are reached, as soon as solar gains decrease, the greenhouse cools very quickly. To avoid this happening, it may be of great interest for future work to see the behavior of the greenhouse if some element of inertia is introduced, such as placing concrete paving stones on the insulation. By introducing greater inertia in the greenhouse, during the day such high temperatures will not be reached, but during the night temperatures will not decrease so much, keeping the interior temperature more constant. This cir-

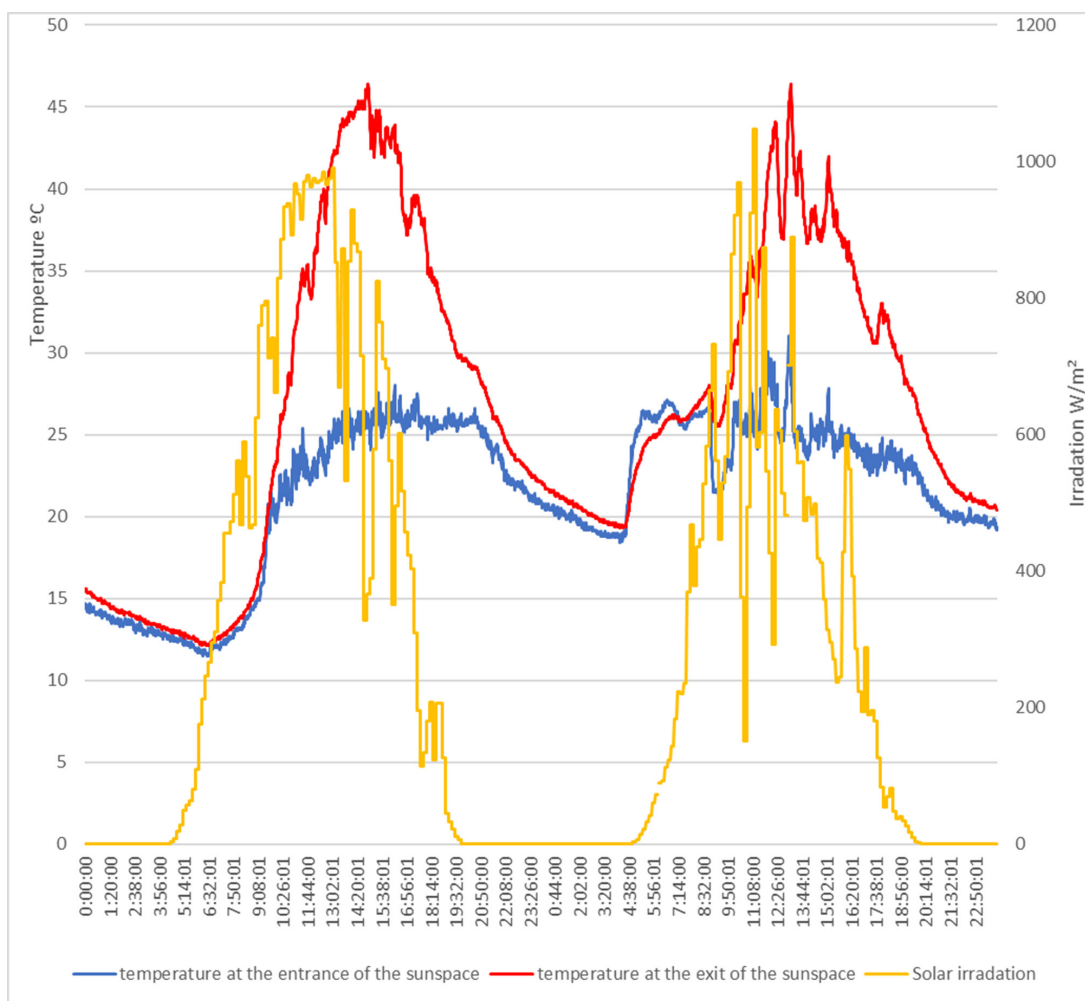


Figura 4. Comparativa de las distintas temperaturas del aire del invernadero.

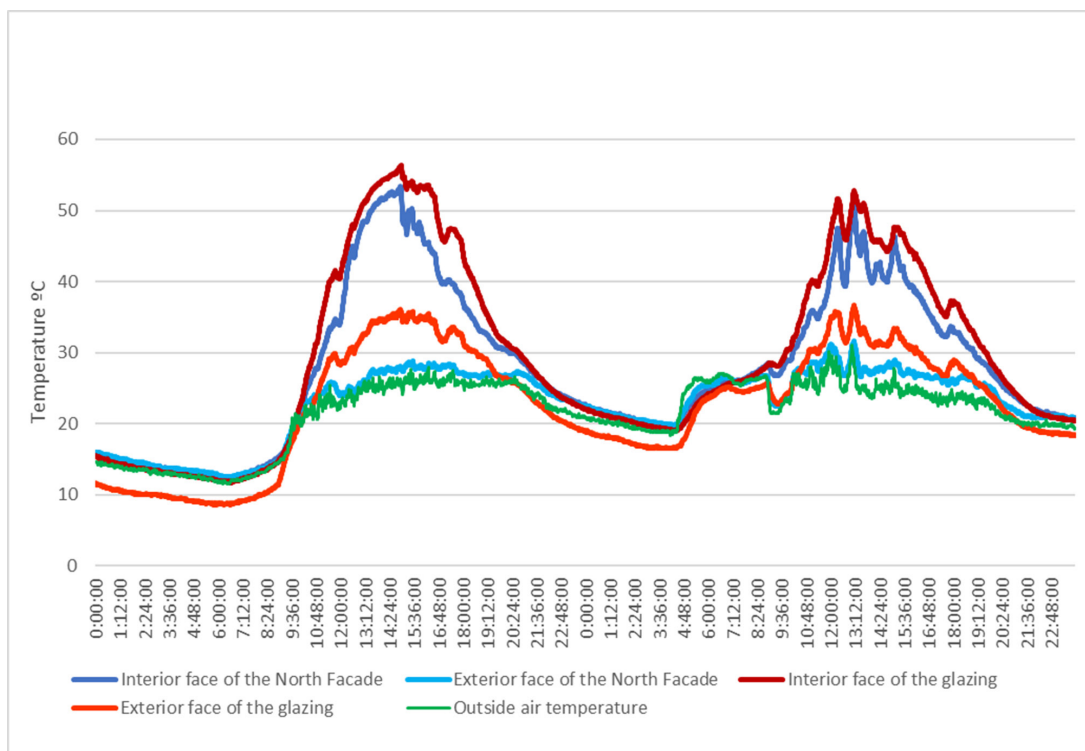


Figura 5. Temperaturas superficiales en el cerramiento del invernadero.

temperatura entre la cara interior y exterior son muy altas. Estos datos de temperaturas superficiales servirán para determinar la transmitancia térmica de la envolvente y por tanto las pérdidas térmicas que se producen por la envolvente.

5. Conclusiones y trabajos futuros

Tal y como cabía esperar, las temperaturas registradas demuestran que gracias al efecto invernadero se puede precalentar el aire de ventilación a introducir en los edificios. A pesar de que durante el día se llegan a alcanzar temperaturas muy altas, en cuanto disminuyen las ganancias solares el invernadero se enfría muy rápidamente. Para evitar que esto ocurra puede ser de gran interés para futuros trabajos ver el comportamiento del invernadero si se introduce algún elemento de inercia como puede ser colocar adoquines de hormigón sobre el aislamiento. Al introducir mayor inercia en el invernadero, durante el día no se alcanzarán temperaturas tan altas, pero durante la noche no descenderán tanto, manteniéndose la temperatura interior más constante. Esta circunstancia puede mejorar el ahorro energético obtenido en los edificios.

Por el momento sólo se ha podido monitorizar el invernadero en verano, periodo del año en donde no interesa precalentar el aire de ventilación. De todos modos, se puede extraer una primera conclusión: como se observa por las temperaturas alcanzadas, durante el verano se deberá tapar el invernadero o desconectarlo del sistema de ventilación mediante un bypass para evitar introducir este aire precalentado en los edificios y evitar producir sobrecalentamientos.

Cuando realmente interesa precalentar el aire de ventilación es durante el invierno, por lo que, en futuros trabajos, se deberá monitorizar el invernadero durante este periodo. Se deberá analizar hasta qué punto se calienta el aire exterior tras pasar por el invernadero y, por tanto, cómo puede afectar en el ahorro energético de los edificios.

Los datos registrados servirán para caracterizar el comportamiento térmico del invernadero. Además, estos datos permitirán calibrar los modelos matemáticos desarrollados, y de esta forma, estimar la reducción de la demanda de calefacción y el consumo energético asociado a la renovación de aire en otro tipo de edificios, situaciones y configuraciones del invernadero. Una vez calibrado el modelo informático de simulación se podrán optimizar las distintas características del invernadero como son el tipo de vidrio a colocar, el espesor del aislamiento óptimo, si es conveniente colocar algún elemento de inercia y como influye instalar un recuperador de calor entre la expulsión del aire viciado del edificio y el aire a introducir en el invernadero. Además, se podrá analizar el número de módulos a instalar en función del edificio en el que se sitúe. A su vez, el uso de la simulación

can improve the energy saving obtained in buildings.

At the moment, it has only been possible to monitor the greenhouse in summer, period of the year where it does not matter to preheat the ventilation air. Anyway, a first conclusion can be drawn: as seen by the temperatures reached, during the summer the sunspace must be covered or disconnected from the ventilation system by a bypass to avoid introducing this preheated air into buildings.

It is during the winter when it is really important to preheat the ventilation air. That is why the sunspace should be monitored during this period in future work. It should be analyzed how the outside air is heated after passing through the greenhouse and, therefore, how it can affect the energy saving of buildings.

The recorded data will serve to characterize the thermal behavior of the greenhouse. In addition, these data will allow to calibrate the developed mathematical models, and in this way, estimate the reduction of the heating demand and the energy consumption associated with the renewal of air in different types of buildings, situations and configurations of the greenhouse. Once the simulation computer model has been calibrated, the different characteristics of the greenhouse can be optimized, such as the type of glass to be installed, the optimum insulation thickness, if it is convenient to place some element of inertia and how it influences to install a heat recovery system between the exhaust air of the building and the air to be introduced into the greenhouse. In addition, depending on the building in which the sunspace is located, the number of modules to be installed can be analyzed. In turn, the use of computer simulation once the model is validated, will allow to see how the climate influences these systems, making simulations in different cities.

informática una vez validado el modelo, permitirá ver cómo influye el clima en estos sistemas, realizando simulaciones en distintas ciudades.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Commission of the European Communities, Communication from the commission, Brussels. (2006). Action Plan for the energy efficiency: Realising the potential.
- [2] <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/introduction-indoor-air-quality>
- [3] Lvovsky, K. (2001). environment strategy papers; health and environment (No. 33324 Caja (530)). THE WORLD BANK
- [4] European Environment Agency. (2005). Environment and health, EEA report N 10/2005.
- [5] Awbi, H. B. (1998). —Ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2(1-2), 157-188.
- [6] Orme, M. (2001). Estimates of the energy impact of ventilation and associated financial expenditures. *Energy and Buildings*, 33(3), 199-205.
- [7] Mihalakakou, G. (2002). On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe. *Renewable Energy*, 26(3), 415-429.
- [8] Chiesa, G., Simonetti, M., & Ballada, G. (2017). Potential of attached sunspaces in winter season comparing different technological choices in Central and Southern Europe. *Energy and Buildings*, 138, 377-395.
- [9] Oliveti, G., Simona, M., & Ruffolo, S. (2005, May). Solar contribution evaluation for building attached sunspace in the Mediterranean climate. In International conference passive and low energy cooling for the built environment, Santorini, Greece.
- [10] Torra, C., Cusido, J. A., & Puigdomenech, J. (1988). Some experiences on design and calculation of sunspaces in Mediterranean climates. *Solar & wind technology*, 5(4), 365-378.
- [11] Monge-Barrio, A., & Sánchez-Ostiz, A. (2015). Energy efficiency and thermal behaviour of attached sunspaces, in the residential architecture in Spain. Summer Conditions. *Energy and Buildings*, 108, 244-256.
- [12] Nadal, A., Llorach-Massana, P., Cuerva, E., López-Capel, E., Montero, J. I., Josa, A., ... & Royapoor, M. (2017). Building-integrated rooftop greenhouses: An energy and environmental assessment in the mediterranean context. *Applied Energy*, 187, 338-351.
- [13] Pons, O., Nadal, A., Sanyé-Mengual, E., Llorach-Massana, P., Cuerva, E., Sanjuan-Delmàs, D., ... & Rovira, M. R. (2015). Roofs of the future: rooftop greenhouses to improve buildings metabolism. *Procedia engineering*, 123, 441-448.
- [14] Tam, V. W., Tam, C. M., Zeng, S. X., & Ng, W. C. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. *Building and environment*, 42(10), 3642-3654. 4.
- [15] J. Gainza-Barrencua, M. Odriozola-Maritorea, Hernández_Minguillón, Rufino. (2017). Definición de las características óptimas de los invernaderos situados en las cubiertas de los edificios para el precalentamiento de aire de ventilación. 8º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo.
- [16] J. Gainza-Barrencua, M. Odriozola-Maritorea, Hernández_Minguillón, Rufino. (2018). Diseño de invernadero prefabricado para precalentar el aire de ventilación y reducir el consumo energético: ángulo óptimo de acristalamiento. 9º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo.

Experiencias obtenidas a partir de monitorización energética de viviendas rehabilitadas en el País Vasco

Experience obtained from energy monitoring of renovated housing in the Basque Country

Imanol Ruiz de Vergara-Ruiz de Azua¹, Carlos García-Gáfaró¹, Juan María Hidalgo-Betanzos², Eider Iribar-Solaberrieta¹, César Escudero-Revilla¹

ABSTRACT

For years the Basque Government, through the Department of Housing and Architecture, has promoted programs to help the integral refurbishment of dwellings. These efforts have been carried out in different projects throughout the three provinces of the Autonomous Community of the Basque Country. Thermal parameters (relating to interior air temperature, indoor relative humidity, and heating consumption) in a significant number of refurbished dwellings are monitored.

While the goal of constructing nearly zero-energy buildings lies in the near future, the means of improving existing building parks are pending. Refurbishment is an excellent way of enhancing energy efficiency in existing buildings, taking into account changing and increasingly demanding regulations. For this reason, refurbishment should not be carried out as specific solutions which could quickly become obsolete. More information is needed to develop a solution that has longer lasting effects.

Information obtained through the monitoring of thermal parameters allows us to determine the effectiveness of the refurbishment. Periods of monitoring lasting for year gives additional insight into the tenant's usage habits, ventilation and heating routines, and the interior conditions of the dwellings.

Monitoring the energy of houses allows us to know the internal conditions and check their evolution over time. This information is very useful in determining the comfort that tenants enjoy in their dwellings at any given time, which can be studied on a seasonal or even weekly or daily basis.

Refurbishment is the main factor in the heating load reduction of the refurbished building, assuming that the tenants and their routines do not vary during the refurbishment process. The heating load of the building prior to be refurbished, is calculated by official energy certification tools, and the data monitored after refurbishment, shows reductions in this heating load near to 80% in some cases.

Finally, a key factor that influences the actual energy performance of a building is the user profile of the end user or tenant. This component is also shown as one of the main causes of discrepancy between the levels of predicted consumption by simulation and those actually measured. The monitoring allows us to study the tenant's routines in detail.

Key Words: energy monitoring, delivered heating energy, energy performance certificate, heating usage patterns, comfort

(1) Research group ENEDI, Department of Thermal Engineering, UPV/EHU, +34 601 4028, imanol.ruizdevergara@ehu.eus.

(2) Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco

1.Introducción

1.1. Situación actual

En la Comunidad Autónoma del País Vasco el número de edificios de viviendas según el Instituto Vasco de Estadística (EUSTAT) [1] es de 174.612. El 46 % de dichos edificios de viviendas fueron construidos antes de 1979, es decir, antes de la entrada en vigor de la Norma Básica de Edificación NBE-CT-79 [2] y sus requisitos térmicos. Si se amplía el periodo de construcción hasta el año 2006, cuando se aprobó el CTE-DB-HE [3] con unos criterios energéticos bastante más exigentes que su norma predecesora, el porcentaje de edificios aumenta hasta un 92 %. Por este motivo, se puede afirmar que el parque edificatorio de la CAPV es antiguo y muy susceptible de ser rehabilitado. En la Tabla 1 se puede observar el número de edificios de viviendas construidos por periodos de tiempo y por las diferentes provincias que forman la CAPV.

Region	Residential buildings	<1980	<2006	>2006
Álava	36.815	13.397	19.230	4.188
Vizcaya	81.277	42.465	32.825	5.987
Guipúzcoa	56.070	24.954	27.014	4.102
Total	174.612	80.816	79.070	14.276

Tabla 1.

Edificios de viviendas de la C.A. del País Vasco por año de construcción.

Actualmente la mitad del consumo energético de las viviendas está destinado al acondicionamiento térmico (IDAE) [4], donde la fachada, como parte integrante de la envolvente juega un papel determinante. Es de suponer, que edificios que han sido construidos antes de 1980 no disponen de aislamiento térmico en sus envolventes, por lo que la demanda energética para climatización de los mismos será muy elevada. Por otro lado, el 70% de las viviendas dispone de calefacción, sólo un 39% de las viviendas dispone de doble acristalamiento, y un 11% dispone de carpinterías con rotura de puente térmico (INE, 2008) [5]. Ahora que se está intentando fomentar el ahorro energético, la eficiencia energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la rehabilitación energética de los edificios de viviendas existentes se plantea como una cuestión fundamental.

A nivel de normativa, existen cuatro directivas europeas que definen el camino a seguir sobre las exigencias en materia de ahorro y eficiencia energética, emisiones de gases efecto invernadero y en general en la protección del medio ambiente y el cambio climático, instando a los Estados miembros a promover planes estratégicos hasta lograr las cifras estimadas para el 2020 en cuanto a emisiones de gases efecto invernadero, consumo energético y energías renovables (2002: Eficiencia Energética en Edificios, 2009: El uso de la energía renovable, 2010: Edificios Net-Cero Emisiones, 2011: Nueva Directiva de Eficiencia Energética).

1. Introduction

1.1. Current situation

In the Autonomous Community of the Basque Country the number of residential buildings according to the Basque Institute of Statistics (EUSTAT) [1] is 174,612. 46% of these residential buildings were built before 1979, that is, before the Basic Building Standard NBE-CT-79 [2] and its thermal requirements was applied. If the construction period is considered until 2006, when the CTE-DB-HE [3] with energy criteria that are considerably more demanding than its predecessor standard was approved, the percentage of buildings increases up to 92%. For this reason, it can be affirmed that the building set of the Basque Country is old and for that reason it could be renovated. Table 1 shows the number of residential buildings constructed for periods of time and by the different regions that the Basque Country is formed.

Currently half of the energy consumption in dwellings is for heating or cooling (IDAE) [4], where the façade, as an integral part of the envelope, plays a decisive role. Buildings that were built before 1980 surely do not have thermal insulation in their envelopes, so the energy demand for heating or cooling them will be very high. On the other hand, only 70% of dwellings have heating devices, only 39% of homes have double glazing, and 11% have windows with thermal break systems (INE) [5]. Now that we are trying to promote energy saving, energy efficiency and the reduction of greenhouse gas emissions, the energy rehabilitation of existing residential buildings is an essential field of work.

In terms of regulation, there are four European directives that define and set limits in terms of energy savings and energy efficiency, emissions of greenhouse gases and in general in the protection of the environment and climate change. They are urging the European States Member to promote strategic plans until achieving the objectives estimated for 2020 in terms of greenhouse gas emissions, energy consumption and renewable energies (2002: Energy Efficiency in Buildings, 2009: The use of renewable energy, 2010: Buildings Net-Cero Emissions, 2011: New Energy Efficiency Directive).

Among the initiatives at the national level, the Energy Saving and Efficiency Plan 2011-2020 stands out, by IDAE [6]. The Law of urban rehabilitation, regeneration and renewal (Law 8/2013); it is a clear example

Entre las iniciativas a nivel nacional destaca el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, por el IDAE [6]. La ley de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas (Ley 8/2013); es un claro ejemplo del sector en el que las actuaciones han de realizarse.

En el ámbito de la CAPV, la Dirección de Vivienda y Arquitectura del Gobierno Vasco, desde el año 2012 hasta la actualidad ha subvencionado Programas anuales de Ayudas (BOPV) en materia eficiente para la Rehabilitación de edificios y viviendas, denominados programas REVIVE y RENOVE, cuyos objetivos están alineados a las normativas anteriormente citadas, además de satisfacer los requisitos de la Directiva Europea 2012//27/UE [7]. Un requisito para poder obtener estas ayudas es la de realizar una monitorización energética de las viviendas que han sido rehabilitadas.

1.2. Objetivo

Gracias a la monitorización energética se pueden conseguir una serie de objetivos de gran interés.

Por un lado, de manera global:

- Recopilación de información real que permite determinar el consumo energético residencial rehabilitado en la CAPV
- Conocer la eficacia de las actuaciones de rehabilitación
- Definir estrategias futuras de actuación en base a resultados y conocimientos adquiridos
- Divulgación e información a las comunidades de vecinos.

Por otro lado, en un ámbito más particular permite:

- Análisis de las condiciones interiores de las viviendas, pudiendo relacionarse entre ellas
- Creación de perfiles tipo con los diferentes patrones de uso de calefacción
- Conocer las rutinas de ventilación
- Estimaciones de ahorro energético del edificio rehabilitado respecto al estado inicial del mismo

2. Metodología

2.1. Descripción del sistema de monitorización térmico

La ejecución de la monitorización térmica requiere la instalación en el edificio rehabilitado de un sistema específico dedicado exclusivamente a esta labor. Las especificaciones de los componentes de este sistema están claramente indicadas mediante anexos

of the sector in which the actions have to be carried out.

In the Basque Country, the Department of Housing and Architecture of the Basque Government, has given money through Annual Programs (BOPV) in order to renovate residential buildings from 2012 to the present. The Programs are called REVIVE and RENOVE, whose objectives are aligned with the aforementioned regulations, in addition to satisfy the requirements of the European Directive 2012 // 27 / EU [7]. It is compulsory to monitoring the energy performance of the renovated buildings in order to take part in these Programs.

1.2. Objective

Thanks to energy monitoring, a very interesting objectives can be achieved.

On the one hand, in general terms it allows:

- To get real information that allows to determine the rehabilitated residential buildings energy consumption in the Basque Country
- To know the effectiveness of renovated actions
- To define future strategies based on results and acquired knowledge
- To inform the neighbourhood communities.

On the other hand, in a more particular field it allows:

- To analyse the interior conditions of the dwellings
- To create different heating usage patterns
- To know the ventilation routines
- To estimate the energy saving of the rehabilitated building compared to the initial state of the same

2. Methodology

2.1. Thermal monitoring system description

The execution of the thermal monitoring requires a specific system dedicated exclusively to this work in the refurbished building. The specifications of the components of this system are clearly indicated by annexes in the Orders published annually since 2012.

Figure 1 shows a diagram of the basic configuration of the monitoring installation in the building. The basic configuration of this installation includes:

- Sensor elements for the measurement of the three variables of interest in each monitored house: T indoor air [°C], RH [%], and delivered heating energy [kWh]

en las Ordenes publicadas anualmente desde el año 2012.

En la Figura 1 se muestra un esquema de la configuración básica de la instalación de monitorización en el edificio. La configuración básica de esta instalación comprende:

- Elementos sensores para la medida de las tres variables de interés en cada vivienda monitorizada: T aire interior [°C], HR [%], y demanda de calefacción[kWh]
- Una centralita que registra y permite la tele-lectura de las mediciones
- Elementos accesorios como antenas repetidoras, protecciones de sobrecarga eléctrica y comunicación remota.

Otro aspecto fundamental es que la energía de calefacción monitorizada se corresponda exclusivamente a la vivienda analizada. Esto es fácil de ejecutar en viviendas con calderas individuales (Figura 1, a.), o en instalaciones colectivas con anillos individuales para cada vivienda (Figura 1, b.).

Sin embargo, en instalaciones colectivas del tipo columnas o con anillos por planta, se requiere un análisis específico de la opción viable que permite determinar la demanda de calefacción de las viviendas muestra. Por ejemplo, en el caso de columnas puede aprovecharse la obligación de individualizar

- A switchboard that registers and allows the tele-reading of the measurements
- Accessory elements such as repeater antenna, electrical overload protections and remote communication

Another fundamental aspect is to ensure that the monitored heating energy corresponds exclusively to the dwelling being studied. This is easy to execute in dwellings with individual boilers (Figure 1, a.), or in collective installations with individual rings for each dwelling (Figure 1, b.).

However, in collective installations such as vertical piping systems or with piping rings on each floor, a specific analysis of the viable option is required, in order to determine the heating demand of the monitored dwellings. For example, in the case of vertical piping systems, measuring energy consumption in each individual dwelling as mandated by Directive 2012/27 / EU can be useful, because in these installations it is necessary to use cost distributors. These devices, used with energy meters allow for greater accuracy in measuring the energy consumed in heating of the monitored dwellings.

Regarding the instrumentation required, it is established that the margin of error must be less than ± 0.5 ° C in temperature, $\pm 5\%$ in relative humidity, $\pm 5\%$ in the measurement of energy consumption for heating [8] The commercial equipment available in the market easily complies within these parameters.

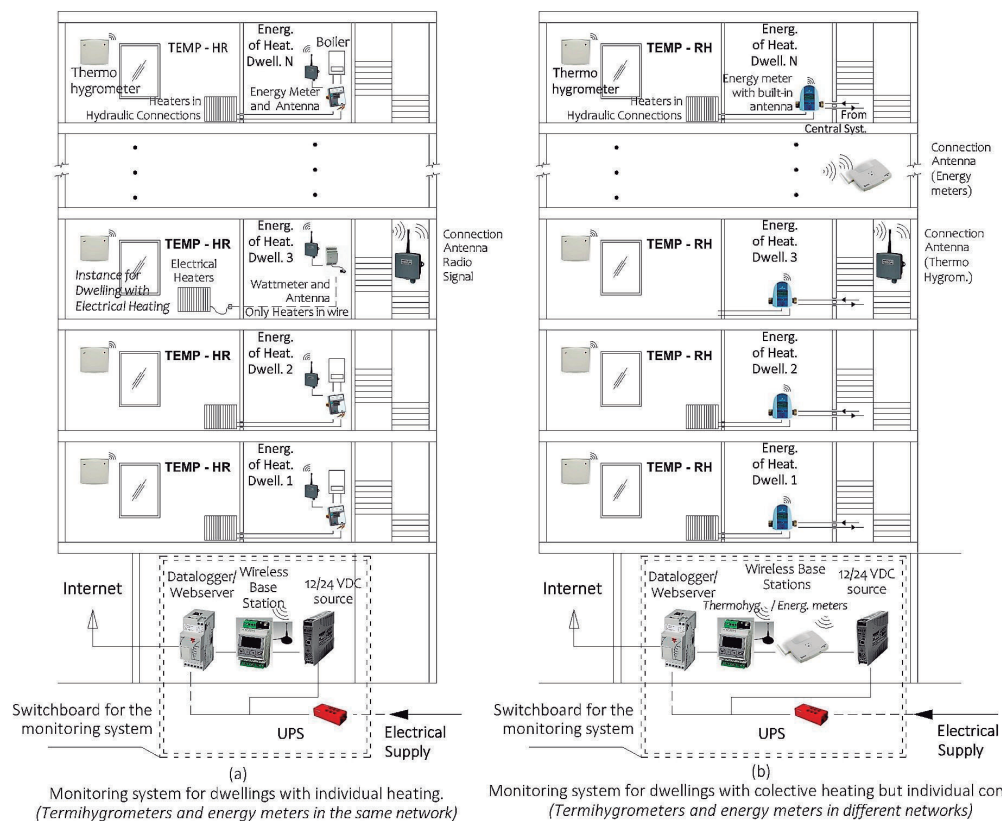


Figura 1. Red de monitorización para sistemas de calefacción individual (a) y colectivos (b).

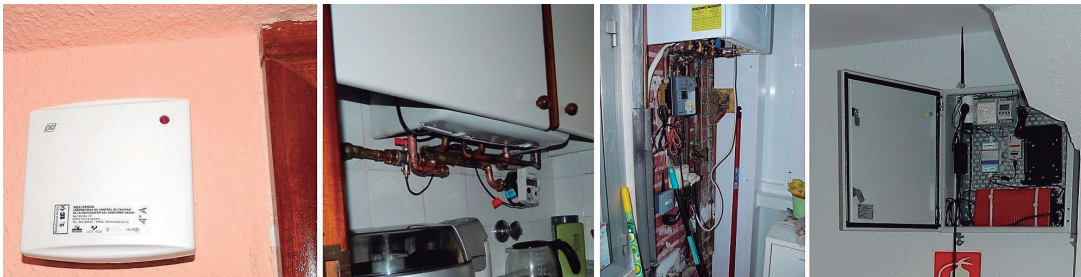


Figura 2. Ejemplos de instrumentación instalada en viviendas.

consumos que exige la Directiva 2012/27/UE, para que mediante una combinación de medidores de energía y repartidores de coste se reduzca la incertidumbre en la medida de energía de calefacción de las viviendas a monitorizar.

En cuanto a la instrumentación exigida, se establece que las incertidumbres de medida deberán ser inferiores a

$\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en temperatura, $\pm 5\%$ en humedad relativa, $\pm 5\%$ en la medida de consumo de energía para calefacción [8]. Se trata de especificaciones perfectamente cubiertas por equipos comerciales disponibles en el mercado. En la Figura 2 se muestran ejemplos de dispositivos de este tipo instalados en algunas viviendas monitorizadas. Normalmente la rehabilitación se centra en actuaciones de envolvente y de accesibilidad y para evitar otros costes y mayores molestias a los vecinos, se da preferencia a dispositivos inalámbricos.

2.2. Criterios para la muestra de monitorización térmica

La tipología de los edificios rehabilitados o en proceso de rehabilitación, varía desde pequeños bloques residenciales de ocho viviendas, hasta torres de 21 plantas y 80 viviendas.

Desde sus inicios en el 2012, los programas de ayuda en materia de rehabilitación eficiente de viviendas y edificios siempre han priorizado actuaciones que tengan el mayor alcance posible en el edificio. En sus inicios la convocatoria solo contemplaba edificios exentos o actuaciones que abarcaran la manzana entera (Figura 3, izq.). Posteriormente se han incluido actuaciones que incluyan al menos un lado de la manzana edificatoria (Figura 3, der.), todo esto inde-

Figure 2 shows examples of devices of this type installed in some monitored dwellings. Refurbishment usually focuses on building envelopes and accessibility tasks. To avoid other costs and greater inconvenience to neighbours, preference is given to wireless devices.

2.2. Criteria for the thermal monitoring sample

The typology of the buildings refurbished or in the process of refurbishment, varies from small residential blocks of eight houses to towers with 21 floors and 80 dwellings.

Since its inception in 2012, aid programs in the efficient refurbishment of dwellings and buildings have always prioritized actions that have the greatest possible scope in the building. In its beginnings, the call only contemplated exempt buildings or actions that covered the entire block (Figure 3, left). Subsequently, the calls have included at least one side of the building block (Figure 3, right), independent of the number of portals. The current order demands that in the first case the residential complex object of refurbishment is comprised of at least six dwellings, while in the second case it must apply to at least twelve dwellings.

In the first call of the aid, all houses that could technically support the installation of the sensors were monitored. In subsequent calls, the monitoring of a representative sample of the building was considered sufficient. Table 2 summarizes the criteria established by the current order for the selection of the dwellings to be monitored. Other types of dwellings not included in this table can be selected whenever justified, and in any case no less than 20% of the total refurbished dwellings.

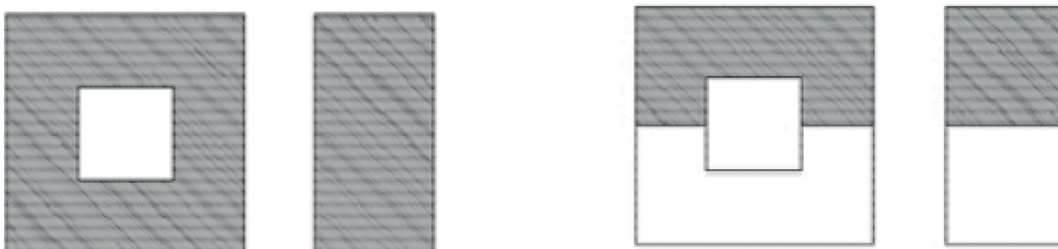


Figura 3. Configuraciones del edificio o conjunto de edificios plurifamiliares a rehabilitar, aceptados por el programa RENOVE.

Number of dwellings to be refurbished.	Number of dwellings to be monitored, according to the criteria			
	Dwellings in the middle floors	Dwellings on the top floor	Dwellings facing North	Dwellings with the greatest surface area
$n \leq 6$	1	1		
$6 < n \leq 10$	1	1	1	
$10 < n \leq 20$	2	1	1	1
$20 < n \leq 30$	2	2	2	2
$30 < n \leq 50$	3	2	2	3
$n > 50$	10% del total	5% del total	5% del total	10% del total

Tabla 2.

Criterios de selección de las viviendas que conforman la muestra de monitorización según el anexo I, orden RENOVE [2].

pendiente del número de portales. La actual orden restringe que en el primer caso el conjunto residencial objeto de actuación sea de seis viviendas como mínimo, mientras que en el segundo caso debe tratarse de mínimo doce viviendas.

En cuanto al número de viviendas a monitorizar, en la primera convocatoria del programa de ayudas se hizo la máxima cobertura de muestreo, monitorizando todas las viviendas en que fuese técnicamente posible instalar los sensores. A partir de esta experiencia, en posteriores planes se consideró suficiente la monitorización de una muestra representativa del edificio. La tabla 2 resume los criterios establecidos por la actual orden para la selección de las viviendas a monitorizar, posibilitando la selección de otras viviendas siempre que se justifique y en todo caso no menos del 20% del total de viviendas rehabilitadas.

3. Resultados y discusión

3.1. Descripción general

Han sido objeto de este estudio un total de 12 promociones, y alrededor de 200 viviendas. Las promociones se distribuyen por las 3 provincias que forman la CAPV, teniendo diferentes zonas climáticas según el Código Técnico de la Edificación [9] (Álava y Guipúzcoa Zona climática D y Vizcaya Zona climática C).

Gracias a los 3 años naturales monitorizados, se obtiene una cantidad suficiente de datos para realizar estudios y análisis de calidad y en profundidad. Un aspecto positivo de tener un periodo de 3 años monitorizados es que los efectos de acontecimientos anómalos quedan minimizados o absorbidos parcialmente. Es decir, si un año hace un invierno especialmente frío o especialmente suave, se tienen datos de otros 2 años adicionales que dan sentido a los valores obtenidos. Ocurre de igual manera para los periodos de verano, en los que las condiciones interiores de las viviendas se ven afectadas.

A partir del análisis de los datos obtenidos de la monitorización se pueden realizar diferentes estudios, siendo de los más interesantes los 3 siguientes: demanda de calefacción de las viviendas, condiciones

3. Results and discussion

3.1. General description

A total of 12 buildings and about 200 dwellings have been studied. The buildings are distributed through the 3 provinces from the Basque Country, which have different climate zones according to Spanish regulation Technical Building Code [9] (Álava and Guipúzcoa Climatic Zone D and Vizcaya Climatic Zone C).

Thanks to the 3 monitored years, an enough amount of data is obtained to carry out in depth studies and quality analysis. An advantage of having a 3 years monitored period is that the effects of anomalous events are minimized or partially absorbed. For example, if there is a particularly cold or especially mild winter in a year, there are still data from an additional 2 years that gives meaning to the obtained values. It happens in the same way for the summer periods, in which the interior conditions of the houses are affected.

From the analysis of the obtained data from the monitoring, different studies can be carried out. Some of the most interesting studies are the following 3: delivered heating energy of the dwellings, comfort conditions and tenants' usage patterns.

3.2. Delivered Heating energy

From the monitoring data it can be seen that there is a difference between the delivered heating energy according to the climatic zone where the buildings are located. The buildings in climatic zone C have had an average delivered heating energy of 1350 kWh / year per dwelling. On the other hand, the buildings located in climatic zone D have had a delivered heating energy of 2315 kWh / year per dwelling.

In the Figure 4 it can be seen the profile of the delivered heating energy for the 3 monitored years, being on the left the buildings belonging to the climatic zone C and on the right the buildings located in the climatic zone D. It also appears the average of the monitored period.

de confort y patrones de uso de los inquilinos.

3.2. Energía de calefacción cedida

De los datos de la monitorización se puede apreciar como hay una diferencia en las demandas de calefacción según la zona climática donde se encuentren los edificios. Los edificios de la zona climática C, han tenido una demanda de calefacción promedio de 1350 kWh/año por vivienda. Por el contrario, los edificios ubicados en la zona climática D han tenido una demanda de calefacción de 2315 kWh/año por vivienda.

En la Figura 4 se puede observar el perfil de la demanda de calefacción para los 3 años monitorizados, estando a la izquierda los edificios pertenecientes a la zona climática C y a la derecha los edificios ubicados en la zona climática D. También se observa la demanda de calefacción promedio.

It is interesting to verify that the buildings of climatic zone D, have required heating in the month of May in each of the 3 monitored years. This does not occur with the buildings of the climatic zone C, which have a shorter winter period, requiring heating from January to April and from October to December.

It would be interesting to know the savings that rehabilitation actions have meant in the delivered heating energy of buildings. It is considered that tenants do not vary their heating usage routines. As there is no real monitored information prior to the rehabilitation, the Energy Performance Certificate (EPC) [10] of the buildings is taken as reference. The buildings were built before 1980, so they did not have thermal insulation in their enclosures. For this reason, the values granted by the EPC can be considered valid and close to reality.

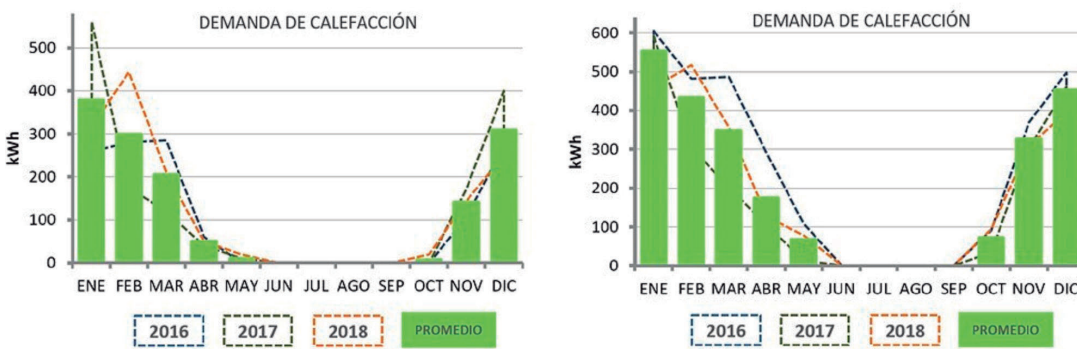


Figura 4. Demanda de calefacción durante 3 años para edificios en Zona climática C (izq) y zona climática D (dcha).



Figura 5. Calificación energética de los edificios antes y después de ser rehabilitados en la zona climática C (izq) y zona climática D (dcha).

Resulta de interés comprobar que los edificios de la zona climática D, han requerido de calefacción en el mes de mayo durante los 3 años monitorizados. Este hecho no ocurre con los edificios de la zona climática C, teniendo un periodo invernal más corto, requiriendo calefacción de Enero a Abril y de Octubre a Diciembre.

The energy rating of the original buildings was bad as expected, given in climate zone C a letter E, and in climatic zone D a letter F. Due to the rehabilitation actions and knowing the real energy demand of the buildings at present, its energy rating has improved to letter C and D respectively. The rating limits are the ones which are being used nowadays [11].

Sería interesante conocer el ahorro que han supuesto las actuaciones de rehabilitación en la demanda de calefacción de los edificios. Se considera que los usuarios no varían sus rutinas de uso de calefacción. Como no se disponen de datos reales monitorizados

In the Figure 5 you can see the energy rating for the original buildings and the same ones once they have been rehabilitated for the two climatic zones, C (left) and D (right).

previos a la rehabilitación con los que poder realizar la comparación, se toma como referencia el Certificado de Eficiencia Energética (CEE) [10] de los edificios. Los edificios fueron construidos antes de 1980, por lo que no disponían de aislamiento térmico en sus envolventes. Por este motivo, los valores otorgados por el CEE pueden considerarse válidos y cercanos a la realidad.

La calificación energética de los edificios originales como era de esperar era mala, siendo en zona climática C una letra E, y en zona climática D una letra F. Debido a las actuaciones de rehabilitación y conociendo la demanda energética real de los edificios en la actualidad, su calificación energética ha mejorado a letra C y D respectivamente. Los límites que establecen la clasificación por letras son los vigentes en la actualidad [11].

En la Figura 5 se puede apreciar la calificación energética para los edificios originales y los mismos una vez rehabilitados para las dos zonas climáticas, C (izquierda) y D (derecha).

Teniendo en cuenta los valores de origen y los reales del presente, se puede calcular que el ahorro obtenido en demanda de calefacción ronda el 80% para todos los edificios.

A modo resumen de los datos obtenidos de la demanda de calefacción de los edificios, se muestra la siguiente tabla:

	Climate zone C				Climate zone D			
	EPC	Heating demand (kWh/m ² año)	Heating demand (kWh/año)	Savings	EPC	Heating demand (kWh/m ² año)	Heating demand (kWh/año)	Savings
Before refurbishment	E	78,5	6.280	78,4%	F	149,5	11.960	80,6%
After refurbishment	B	16,9	1.350		C	28,9	2.315	

Tabla 3. Resumen de la demanda de calefacción de los edificios antes y después de ser rehabilitados y ahorros en zonas C y D.

3.3. Comfort

Determinar la demanda de calefacción de los edificios es interesante, pero por sí sola no aporta toda la información necesaria para el análisis energético de los edificios. Es necesario conocer las condiciones interiores de las viviendas y relacionarlas con la demanda de calefacción. De esta manera, el análisis es completo.

Por ejemplo, se puede tener el caso de un edificio con un consumo de calefacción muy bajo, y no necesariamente significa que sea energéticamente eficiente. Puede que no haya consumo porque las temperaturas interiores son muy bajas, con niveles elevados de humedad relativa (casos de pobreza

Taking into account the original values and real values from the present, it can be calculated that the savings obtained in delivered heating energy are around 80% for all buildings.

The following table is shown to summarize the obtained data from the delivered heating energy of the buildings:

3.3. Comfort

Determining the delivered heating of buildings is interesting, but it does not provide all the necessary information for the energy analysis of buildings. It is necessary to know the interior conditions of the dwellings and relate them to the delivered heating energy. In this way, the analysis is complete.

For example, there can be the case of a building with low delivered heating energy, and it does not necessarily mean that the building is energy efficient. It could be that there is no energy consumption because there are low temperatures are high levels of humidity (energy poverty). On the contrary, there can be high delivered heating energy, but the interior conditions exceed the comfort parameters, both in the interior temperatures and in the relative humidity.

In this section it makes no sense to separate the results in different climatic zones, since the interior conditions have been very homogeneous in all the

dwellings. Thus, in winter period (from January to April and from October to December) the average indoor temperature was 19.1 ° C and 56.7% relative humidity. The minimum average temperature of the dwellings was 19.0 ° C and the maximum of 19.4 ° C. The minimum humidity was 50.6% and the maximum was 61.8%.

On the same way, during summer period (from May to September), an average temperature of 22.9 ° C and 61.8% humidity was obtained. The minimums were 22.6 ° C and 57.3% while the maximums were 23.1 ° C and 64.9%. Table 4 shows the obtained values from the monitored dwellings.

UNE-EN: ISO 7730: 2006 [12] standard has been

	Winter			Summer		
	Average	Minimum	Maximum	Average	Minimum	Maximum
Temperature (°C)	19,1	19,0	19,4	22,9	22,6	23,1
Humidity (%)	56,7	50,6	61,8	61,8	57,3	64,9

Tabla 4.

Valor promedio, mínimo y máximo de temperatura y humedad para los periodos de invierno y verano.

energética). Por el contrario, puede que se tenga consumos de calefacción elevados, pero porque las condiciones interiores sobrepasan con creces los parámetros de confort, tanto en temperaturas interiores como en humedad relativa.

En este apartado no tiene sentido diferenciar los resultados en diferentes zonas climáticas, ya que las condiciones interiores han sido muy homogéneas en todas las promociones, por lo que se han analizado todos los valores de las promociones en conjunto. De este modo, en el periodo de invierno (de Enero a Abril y de Octubre a Diciembre) la temperatura promedio interior ha sido de 19,1 °C con 56,7% de humedad relativa. La temperatura promedio mínima de las promociones ha sido de 19,0 °C y la máxima de 19,4 °C. El mínimo en humedad ha sido 50,6% y el máximo de 61,8%.

De igual manera, durante el periodo de verano (de Mayo a Septiembre), se ha obtenido una temperatura promedio de 22,9 °C y 61,8% de humedad. Los mínimos han sido 22,6 °C y 57,3% mientras que los máximos han sido 23,1 °C y 64,9%. En la tabla 4 se recogen los valores obtenidos de las promociones monitorizadas.

Para conocer si estas condiciones interiores se encuentran dentro de los límites establecidos de confort, se ha utilizado la norma UNE-EN:ISO 7730:2006 [12]. Esta Norma relaciona los parámetros de temperatura interior y humedad relativa y establece unos límites inferiores y superiores para las dos épocas del año, invierno y verano. Considera que, si la vivienda analizada se encuentra dentro de los límites establecidos, dicha vivienda se encuentra en un confort aceptable. En la Figura 6 (izquierda) se muestra la evolución de temperatura y humedad de una promoción durante 3 años monitorizados. En la Figura 6 (derecha) se muestran los límites establecidos por la Norma 7730 para el periodo de invierno y para verano.

3.4. Patrones de uso

Se ha comprobado que existen grandes diferencias en la manera que los vecinos usan la calefacción. A modo de ejemplo se muestra la Figura 6. Se puede apreciar 2 viviendas pertenecientes al mismo edificio, con mismas características. En la imagen de la izquierda se observa como el patrón de uso de calefacción del vecino consiste en pulsos, encendiéndola y apagándola periódicamente. Por consiguiente, la temperatura interior de la vivienda realiza oscilaciones siguiendo la rutina de calefacción, teniendo

used to know if these interior conditions are within the established comfort limits. This Standard relates the parameters of indoor temperature and relative humidity and establishes lower and higher limits for two different periods of the year, winter and summer. It considers that, if the analysed dwelling is within the established limits, it is in an acceptable comfort. The Figure 6 (left) shows the evolution of temperature and humidity of a promotion during 3 monitored years. The Figure 6 (right) shows the limits established by Standard 7730 for winter and for summer periods.

3.4. Usage patterns

It has been found that there are great differences in the way neighbours use heating. Figure 6 is a simple example. It can be seen 2 dwellings which belong to the same building, with the same characteristics. The left picture shows how the neighbour's heating use pattern consists on pulses, turning it on and off periodically. Consequently, the interior temperature of the dwelling oscillates following the heating routine, having minimum below 17 °C and maximums above 23 °C. In the picture on the right, it can be observed that the heating routine remains constant over time, making the interior temperature more stable, between 19 °C and 21 °C. Although the average temperature during the study period in both cases is similar, the delivered energy is higher in the first case.

The typology of heating use patterns is very broad and diverse, it will be study in-depth and in detail.

4. Conclusions

It is confirmed that energy monitoring is a very useful tool to know the real energy performance of renovated buildings. It provides accurate information to be used as a basis for further studies and analysis.

Due to the monitored data, it has been possible to calculate that the achieved savings in the annual delivered heating energy per home are close to 79%, compared with the theoretical values obtained from the Energy Performance Certificate (EPC) of the original buildings. According to the limits established by current regulations, the energy rating of the original buildings was E, having improved to B thanks to the rehabilitation actions that have been carried out.

In the same way, generated CO₂ emissions reductions of around 82% are obtained. This is due to the replacement of the old power generating devices

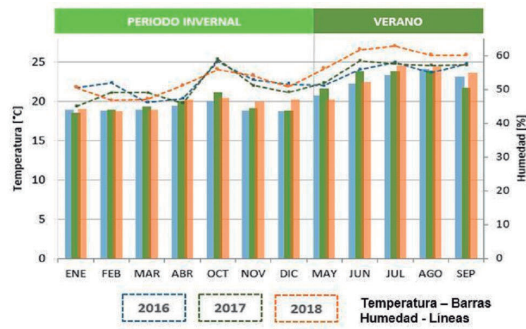


Figura 5. Promedio de 3 años para T^a y H^a interior de un edificio (izq), y límites de confort aceptable UNE-EN:ISO 7730:2006 (dcha).

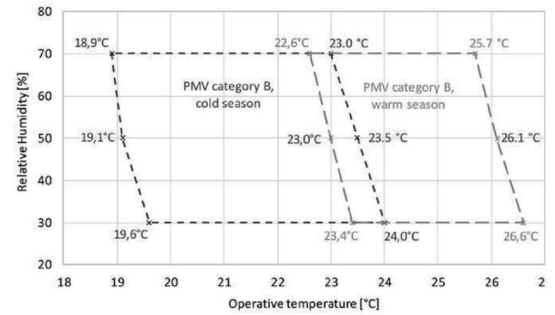


Figura 6. Patrones de uso de calefacción de dos viviendas de un mismo edificio rehabilitado.

mínimos por debajo de 17 °C y máximos por encima de los 23 °C. En la imagen de la derecha, se ve que la rutina de calefacción se mantiene constante en el tiempo, haciendo que la temperatura interior se mantenga más estable, entre los 19 °C y 21 °C. Aunque la temperatura promedio a lo largo del periodo de estudio en ambos casos es similar, el gasto energético es mayor en el primer caso.

La tipología de patrones de uso de calefacción es muy amplia y diversa, por lo que este campo es susceptible de realizar estudios en profundidad y con alto grado de detalle.

4. Conclusiones

Se confirma que la monitorización energética es una herramienta muy útil para conocer el comportamiento energético real de los edificios rehabilitados. Aporta información certera para ser usada como base a estudios y análisis posteriores.

Gracias a los datos monitorizados se ha calculado que los ahorros conseguidos en la demanda de calefacción anual por vivienda son cercanos al 79%, comparando con los valores teóricos obtenidos del Certificado de Eficiencia Energética (CEE) del edificio original. De acuerdo a los límites establecidos por la normativa vigente en la actualidad, la calificación energética de los edificios originales era E, habiéndose elevado hasta B gracias a las actuaciones de rehabilitación realizadas.

by new more efficient ones (high efficiency boilers) and because of the reduction in the energy demand of the building by having improved the envelope of the building. This achieved reduction in the delivered heating energy translates into an average amount of 430 € per year per house, based on the current price of the gas (kWh) (0.054€/kWh gas in July 2019).

The delivered heating energy is directly related to the indoor environmental conditions of the dwellings (temperature and humidity). By means of the UNE-EN ISO 7730: 2006, it is calculated that the interior conditions of the dwellings are within the limits of comfort, both for winter period and for summer period during the 3 years that the monitoring lasted. The average temperature of the dwellings during winter months (from January to April and from October to December) was 19.4 °C, with 50.6% humidity. For summer period (from May to September) the interior temperature of the dwellings was 22.9 °C and 57.3% humidity.

Analyzing the obtained data thanks to energy monitoring, it is possible to determine that the carried out renovation actions have been effective, achieving significant reductions in both the consumption of heating and CO₂ emissions and obtaining indoor conditions in dwellings within the limits of comfort. In addition, taking as reference the rank of the energy performance certificate, the renovated buildings are ranked at a medium high level (letter B), having almost the same energy properties as a new building.

De igual manera, se obtienen reducciones en torno al 80% respecto a las emisiones de CO₂ generadas. Esto es debido por la sustitución de los equipos generadores de energía viejos por unos nuevos más eficientes (calderas) y por la reducción en la demanda de energía del edificio al haber mejorado la envolvente del edificio. Esta reducción conseguida en la demanda de calefacción se traduce en una cantidad promedio de 430€ anual por vivienda, teniendo en cuenta el coste de kWh del gas en la actualidad (0,054€/kWh gas en Julio de 2019).

El uso de calefacción está asociado a unas condiciones ambientales interiores de las viviendas (temperatura y humedad). Se comprueba, mediante cálculo según norma UNE-EN ISO 7730:2006, que las condiciones interiores de las viviendas se encuentran dentro de los límites de confort, tanto para el periodo invernal como para el periodo de verano durante los 3 años que ha durado la monitorización. La temperatura promedio de las viviendas durante los meses de invierno (Enero hasta Abril y Octubre hasta Diciembre) ha sido de 19,4 °C, con 56,7% de humedad. Para los meses de verano (Mayo hasta Septiembre) la temperatura interior de las viviendas ha sido de 22,9 °C y de 61,8% de humedad.

Analizando los datos obtenidos gracias a la monitorización energética, se determina que las actuaciones de rehabilitación realizadas han sido eficaces, lográndose reducciones importantes en el consumo de calefacción y emisiones de CO₂, obteniéndose unas condiciones interiores en las viviendas dentro de los límites de confort. Además, tomando como referencia la etiqueta del certificado energético, las promociones rehabilitadas se encuentran en un nivel medio alto (letra B), teniendo casi las mismas prestaciones que un edificio de nueva construcción. De esta manera, se puede determinar que las actuaciones de rehabilitación no solamente serán eficaces en el presente, sino que también lo serán a medio-largo plazo.

In this way, it can be determined that rehabilitation actions will not only be effective in the present, but will also be effective in the medium to long term.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] EUSTAT: Instituto Vasco de Estadística. Viviendas de la C.A. de Euskadi por ámbitos territoriales según tipo. 01/01/2016. www.eustat.eus.
- [2] NBE-CT-79. Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios. www.boe.es.
- [3] CTE: Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (BOE 28-marzo-2006). www.codigotecnico.org.
- [4] IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía práctica de la energía, consumo eficiente y responsable. 2010 IDAE, Madrid. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11406_Guia_Practica_Energia_3ed_A2010_509f8287.pdf
- [5] INE: Instituto Nacional de Estadística. Encuesta de hogares y medio ambiente 2008. www.ine.es.
- [6] IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. 2012 IDAE, Madrid. https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf
- [7] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency. Official Journal of the European Union. 14.11.2012. L 315/01 - L 315/56. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>
- [8] ORDEN de 12 de junio de 2019, del Consejero de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda, por la que se convoca y regula, para el año 2019, el Programa de ayudas en materia de rehabilitación eficiente de viviendas y edificios (Programa RENOVE) para la elaboración de proyectos de intervención en el patrimonio edificado de la Comunidad Autónoma del País Vasco, y la ejecución de las obras derivadas de los mismos. Anexo I. BOPV 116 20.06.2019. [http://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/eli/es-pv/o/2019/06/11/\(1\)/dof/spa/html/](http://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/eli/es-pv/o/2019/06/11/(1)/dof/spa/html/)
- [9] CTE: Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Ahorro de Energía, Apéndice B. Zonas Climáticas. <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia.html>
- [10] CEE: Certificado de Eficiencia Energética de los edificios. Real Decreto 235/2013 del 5 de abril. BOE 13.04.2013. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-3904-consolidado.pdf>
- [11] IDAE: Calificación de la eficiencia energética de los edificios, ,2015. <https://www.idae.es/publicaciones/escala-de-calificacion-energetica-edificios-existentes>
- [12] ISO 7730:2005. Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. <https://www.iso.org/standard/39155.html>

Bio Alai, el desarrollo de un local sostenible de consumo casi cero de 632m² shop for an ecologic supermarket in Vitoria-Gasteiz

Bio Alai, the development of a NZEB 632m² sustainable shop for an ecologic supermarket in Vitoria-Gasteiz

Iker Gómez-Iborra¹, Noemi Fradejas-Aguillo¹, Itziar Gorosabel-Fernández¹, Yana Tsvetkova¹

ABSTRACT

Bio Alai es una asociación de consumo ecológico sin ánimo de lucro de Vitoria-Gasteiz, con más de 1.400 socios, fundada en 1993. Casi desde el comienzo cuentan con un local comercial en el que vender productos de consumo ecológico a sus asociados.

En el año 2013, la asociación decide mudarse a otro local tres veces más grande (632 m²) para poder dar servicio a un mayor número de socios y de productos en venta: así como de disponer de un espacio específico para el desarrollo de actividades sociales, charlas, exposiciones, talleres, etc.

El uso corresponde con el de un local comercial del tipo Supermarket (área de venta: entre 280 y 1400m²). El área que corresponde a la venta total del local de 300 m².

La intensidad energética (kWh/m²-año) de este tipo de locales es de las más elevadas; por lo que conseguir un local de consumo mínimo es una prioridad.

El local, en un edificio de finales de los años 80, se encuentra vacío, de obra y sin accesibilidad (con un escalón de 20cm). La geometría es totalmente contraria a la compacidad. Para adecuar el local se debe afrontar una adecuación integral del mismo.

El proyecto de reforma debe lograr los siguientes objetivos: ser un local sostenible, de consumo energético casi 0, lo más cercano posible a la filosofía de la bioconstrucción y calidad del aire, funcional, laboralmente seguro y adecuado al, más que reducido, presupuesto disponible.

Para poder llevar a cabo el encargo se desarrolla un proyecto que, constructivamente hablando, desarrolla soluciones ingeniosas y asequibles que, tras varios años de uso, se están demostrando eficaces.

La ponencia muestra el proceso de toma de decisiones del proyecto para poder cumplir, de modo equilibrado, los objetivos señalados.

La ponencia muestra también la importancia de desarrollar soluciones ingeniosas para poder cumplir los objetivos; en especial el equilibrio entre prestaciones y coste

En la ponencia también se explican las dificultades que surgen al construir un local comercial de bajo coste lo más cercano posible a la filosofía de la bioconstrucción y los sacrificios que hay que hacer para lograr los objetivos.

La ponencia muestra el balance y estado de la obra después de 3 años de uso, incluyendo el análisis de consumos energéticos, la evolución del local y en especial de las soluciones no convencionales, el grado de satisfacción de los trabajadores y usuarios, etc.

La ponencia compara la intensidad energética del local con las intensidades energéticas de otros estudios en el ámbito internacional (EEUU, UK, Suecia, REWE passivhaus) para valorar si realmente se ha conseguido un local de mínimo consumo energético.

Finalmente, la ponencia desarrolla en conclusiones los sistemas y protocolos que merece la pena ser repetidos y las cuestiones que requieren mejora.

Esta ponencia es un caso de estudio, una experiencia real de construcción, que ha podido ser usada de modo real el tiempo suficiente como para poder ser valorada adecuadamente.

Key Words: ECCN, bioconstrucción, supermercado, reducción COV, bajo coste, desarrollo constructivo

(1) IG karratu arkitektura, Arantzabal 8 8C, +34 945245641, info@igkarratu.com

1. Introducción a la asociación de consumo ecológico de BIO ALAI

Bio Alai es una asociación de consumo ecológico sin ánimo de lucro de Vitoria-Gasteiz, con más de 1.400 socios, fundada en 1993. Casi desde el comienzo cuentan con un local comercial en el que vender productos de consumo ecológico a sus asociados.

En la fecha en la que se deciden cambiar de local están usando un local de 290 m²c en el mercado de Gazalbide. La superficie de venta es de 188 m²u.

El sitio es manifiestamente pequeño; dando problemas no sólo en poner al alcance los miles de referencias de productos con las que cuentan, sino que generan problemas de salud laboral a los trabajadores ya que tienen que realizar posturas difíciles para el desarrollo de trabajos de reposición.

Hay demasiados consumidores para una tienda tan pequeña, tanto que resulta habitual ver atascos con los compradores y sus carritos de la compra.

Además, el local tiene un problema de climatización; ya que las 2 máquinas de aire acondicionado de 14kw de potencia térmica no son suficiente para satisfacer una demanda energética elevada en invierno y verano.

Adicionalmente se constata que en verano la temperatura del local se eleva sobre los 25 °C; dando como resultado problemas en la duración y calidad del producto fresco expuesto.

La intensidad energética del local es de 340 kWh/m²v-a (sobre la superficie de venta) o, en referencia a la superficie total, 220 kWh/m²-a.

1. Introduction to BIO ALAI association

Bio Alai is a non-profit ecological consumer association in Vitoria-Gasteiz, with more than 1,400 members, founded in 1993. Almost from the beginning, they have a commercial space where they can sell organic and ecofriendly products to their members.

Before this new store Bio Alai was using a 290 m²c store in the Gazalbide market of Vitoria-Gasteiz. The Sales area is 188 m²u.

The Gazalbide store is manifestly small; giving problems not only in putting within reach the thousands of product references that they have, but it also generates labor health problems for the workers since they have to work in difficult positions for the development of their work; especially during product reposition. Consumers are too many for the shop also so there is always a problem while shopping as "traffic jams" are made with buyers and trolley carts.

Moreover, the store has an air conditioning problem. They have 2 air conditioning machines of 14kw of thermal power each which are not enough to satisfy a high energy demand in winter and summer.

Additionally, it is noted that in summer the temperature of the store rises above 25 °C; resulting in problems of durability and quality of the exposed fresh product.

The energy intensity of the premises is 340 kWh / m²s-a (referring to the sales area) or, referring to the total area, 220 kWh / m²-a

Due to all these problems, the board of directors

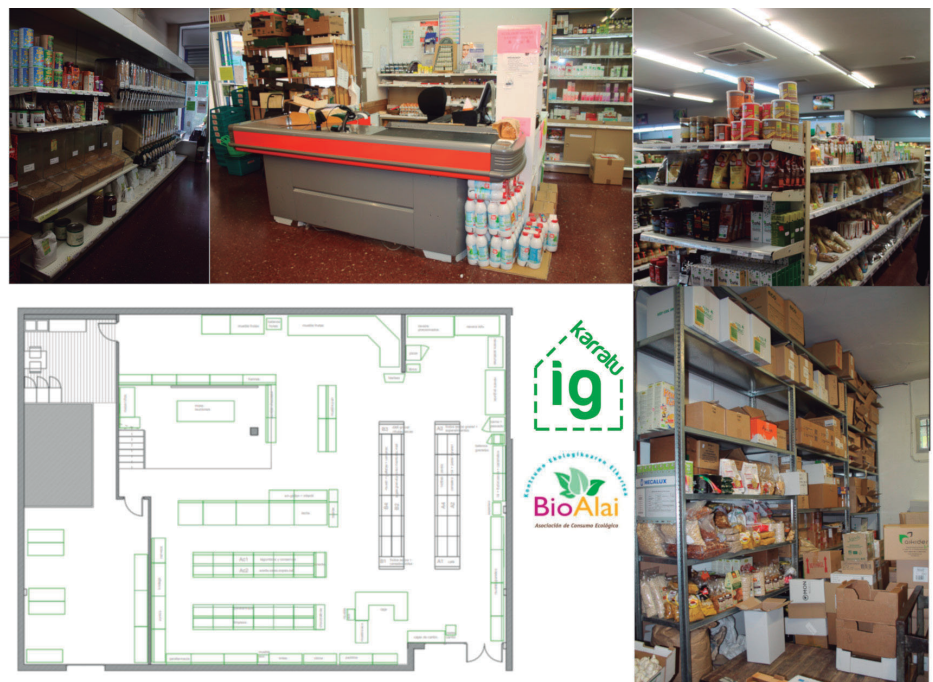


Figura 1.
El anterior local de la asociación de consumo ecológico Bio Alai en el mercado de Gazalbide.

Debido a todos esos problemas, la junta directiva busca y valora diferentes locales de alquiler a largo plazo, dando como resultado la contratación del alquiler del que va a ser el nuevo local.

2. El local de BIO ALAI

En el año 2013, la asociación decide mudarse a otro local tres veces más grande (632 m²) para poder dar servicio a un mayor número de socios y de productos en venta: así como de disponer de un espacio específico para el desarrollo de actividades sociales, charlas, exposiciones, talleres, etc.

El nuevo local se encuentra en estado de obra. La mayor parte del forjado del local se encuentra 20cm por encima de la calle lo que hace necesaria una modificación del forjado para poder dotar de accesibilidad al local.

El proyecto original, sito en el archivo municipal, cuenta con una carga admisible de 400 kg/m² para el uso y de 50kg/m² para el solado. No incluye definición ni mención del tipo de forjado empleado por lo que no se puede plantear mayor carga que la señalada. Decidimos acudir al archivo del Colegio de Arquitectos y, casualmente, este expediente está extraviado. Entonces nos ponemos en contacto con los arquitectos. Tampoco disponen de información adicional; pero nos ponen en contacto con el calculista. Tampoco tiene información adicional, pero recuerda el sistema empleado y nos da las hojas técnicas de los tipos de forjado empleados; información e indicaciones adicionales que tampoco sirven para permitir una mayor sobrecarga a los forjados.

Debido a las reticencias de los vecinos, que retrasan la actuación de accesibilidad al local durante más de

sought different long-term rental places, resulting in the renting of the place for the new premises.

2. The premises of BIO ALAI

In 2013, the association decided to move to another location three times larger (630 m²) to be able to serve a greater number of partners and products for sale: as well as having a specific space for the development of social activities, discussions, exhibitions, workshops, etc.

The new premises are in blank (as working construction). Most of the slab of the premises is 20cm above the street level, which makes a modification of the floor necessary to provide accessibility to the premises.

The floor has an admissible load of 450 kg/m² for the entire floor package and use. The documentation in municipality's archive tells nothing about the slab's structure. So, we search unsuccessfully more information in the Architects office. Finally, we could reach to the structure engineer who calculated the building 30 years ago, so he spared us some information in order to see if it was possible to gain more advantage of the structure; which was not.

Due to the reluctance of the neighbors, who delayed the action of providing accessibility to the premises for more than half a year, we cannot develop a substructure under the current floor to earn a little more payload (150-250kg /m²). Otherwise, we are constrained to use light solutions and a study of the limitations for the exposed product with indication of admissible loads.



Figura 2. Composición de imágenes del proyecto original y estado del local.

medio año, y a la limitación económica nos es imposible desarrollar una subestructura debajo del forjado actual para poder ganar un poco más de carga útil (150-250kg/m²) En su defecto nos vemos constreñidos a emplear soluciones ligeras y un estudio de pesos y cargas para el producto expuesto.

3. Condicionantes de la obra

Han sido condicionantes de la obra:

- el precio destinado a la obra:
- la superficie de la envolvente:
 - suelo (sobre garaje)
 - techo en contacto con el exterior
 - techo en contacto con forjado
 - paredes medianeras y en contacto con el portal
- criterios de calidad:
 - reducción de consumo energético
 - materiales lo más sostenibles posibles
 - reducción de peso de la actuación
 - si es posible; confort
- la estructura del edificio y al acceso a instalaciones
- el programa del local:
 - zona administrativa confortable
 - vestuarios y zona de descanso
 - tienda
 - zona social
 - almacén con cámaras frigoríficas

4. El proyecto

durante las primeras fases del proyecto (anteproyecto y comienzos del proyecto básico), los arquitectos socios trabajamos en cooperación para el desarrollo del proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto, en la primera fase del proyecto, por motivos propios y personales, el equipo de arquitectos queda reducido al equipo de ig karratu arkitektura (Itziar Gorosabel, Iker Gómez Iborra y Noemí Fradejas) con la colaboración de Itsaso Gancedo e Itziar Ibarrondo. La dirección de obra la llevan a cabo en exclusiva ig karratu arkitektura.

Durante el proyecto animamos a la participación de los miembros de la asociación y de la junta, organizándose diversas sesiones para recabar ideas, comprobar y retocar propuestas, conocer prioridades.

La superficie total de venta es de 300 m² (incluyendo la zona de distribución interior y acceso). El almacén ocupa 90 m², la zona administrativa 80 m² y la zona

3. Conditioners of the project and the building itself

There have been determining the factors of the work

- the price of the construction work:
- the surface of the envelope:
 - floor (over the garage)
 - roof in contact with the exterior
 - roof in contact with the first-floor slab
 - dividing walls, which are in contact with the portal
- Quality criteria:
 - reduction of energy consumption
 - materials as sustainable and ecofriendly as possible
 - weight reduction of the performance
 - if possible; comfort
- The structure of the building and access to facilities

4. The project

During the first phases of the project (preliminary project and beginning of the conceptual project), the partner architects worked in cooperation for the development of the project.

During the development of the project, in the first phase of the project, for personal reasons, the team of architects is reduced to the team of ig karratu arkitektura (Itziar Gorosabel, Iker Gómez Iborra and Noemí Fradejas) with the punctual collaboration of Itsaso Gancedo and Itziar Ibarrondo. ig karratu arkitektura ended up developing the project and the D.O.

During the process we encourage participation of the members and the board. There were prepared some sessions in order to gather ideas, check proposals, make modifications and understand priorities.

The sales area is 300 m² (including access distribution). Storage is 90m², offices 80 m² and social area 92 m². The useful area dedicated to supermarket use is 431 m².

5. Consumption and energy intensity of supermarkets

The energy intensity of food stores is very high. According to the Commercial Buildings Energy Consumption Survey, this use (food sales) is the 3rd most intensive users of energy behind of inpatient health care (2nd) and food services (1st) [7]

According to the Energy consumption and conser-

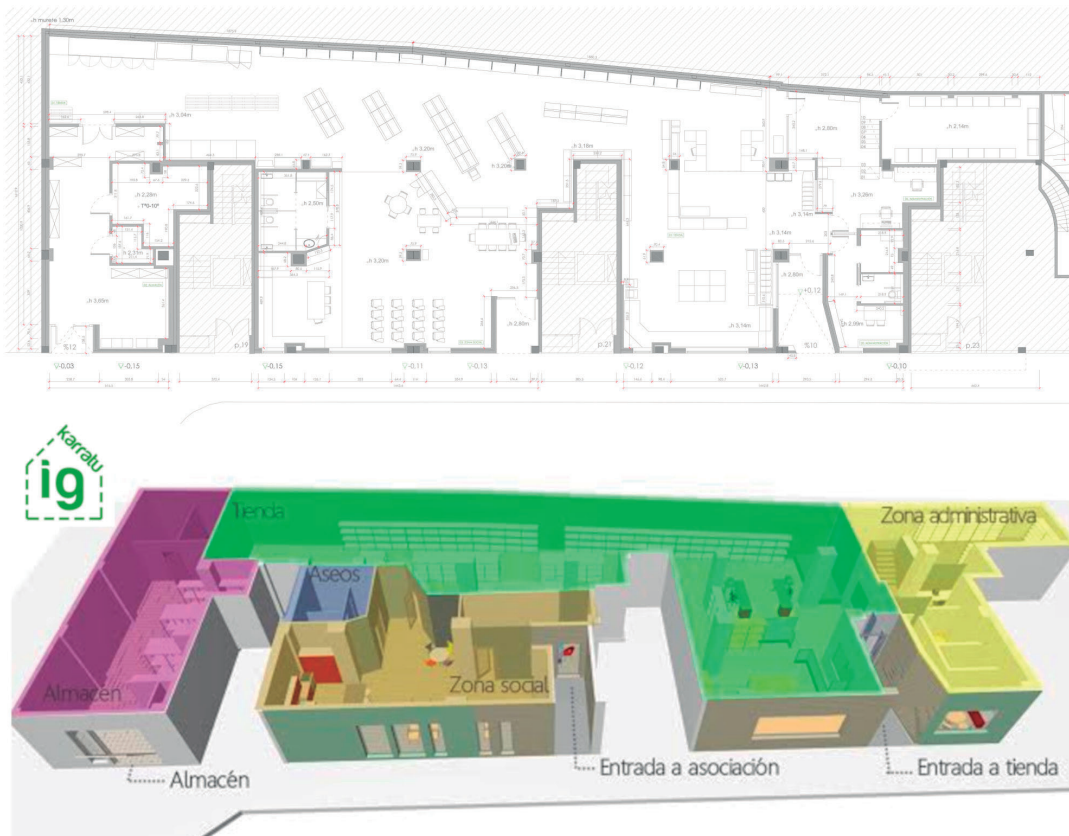


Figura 3.
Plano de fin de obra y Axonometría del local en las primeras etapas.

social 92 m². El área útil dedicada al uso de supermercado son 431 m².

5. Consumo e intensidad energética de los supermercados

La intensidad energética de las tiendas de alimentación es muy elevada. Según la encuesta general de consumo general de energía de edificios comerciales, éste uso es el 3º de mayor intensidad por detrás del usos hospitalario (2º) y alimentación (1º) [7]

Según el artículo de "Energy consumption and conservation in food retailing", [1], el consumo energético (intensidad de energía eléctrica) es medible en relación al área de venta del supermercado. Extrapolando los datos de dicho estudio (análisis del consumo energético de 2570 tiendas de alimentación de UK) Para el área de venta de este local tendríamos una proyección de consumo medio de:

$W_e = 3600 \times A_s^{-0.18} = 1289 \text{ kWh/año} \cdot \text{m}^2$ para una superficie de venta de 300m²; con una oscilación tipo de unos 140 kWh

Es decir, la proyección se sitúa entre 345.000 y 428.700 kWh/año para el consumo total del edificio. (intensidad energética).

Por otro lado, Jaime Arias en su tesis [2] recoge los valores de intensidad energética por m² total de 471 kWh/año·m² (para supermercado en Suecia, Olsson 1998) y 565 kWh/año·m² (EEUU, Energy Star 2003).

in food retailing [1], the Energy consumption in UK supermarkets can be measure in relation to the sales area. Said study analyzes the electrical energy intensity of 2570 UK stores of sales area between 80 m² and 10.000 m² in order to develops a formulae for the energy intensity projection: $W_e = 3600 \times A_s^{-0.18} \text{ kw} \cdot \text{h} / \text{year} \cdot \text{m}^2$.

In this case, with a sales area of 300m²; the projection reaches 1289 kw · h / year · m²s. With a standard deviation of 140 kWh/m²·y

This means that energy consumption of a standard UK retail store with 300 m² Sales Area would be between 345,000 and 428,700 kWh / year (energy intensity).

On the other hand, Jaime Arias [2] in his thesis collects energy intensity values per total m² of 471 kw · h / year · m² (for supermarket in Sweden, Olsson 1998) and 565 kw · h / year · m² (USA, Energy Star 2003).

Values that would give an estimate of consumption for a Total Area (related to supermarket use) of 540m² between 254.340 and x 305.100 kw · h / year. And an energy intensity referring to sales area of 847,8 - 1.017 kWh / m²·a. Similar numbers of energy intensity can be taken from the Supersmart project reports [5,6].

On the other hand, the monitoring of the Hannover Passivhaus supermarket (Rewe supermarket) shows

Valores que darían una estimación de consumo de 500 kWh x 632m² = 316.000 kWh/año. (1053 kWh/m² v año, en relación a los 300m² de venta). Valores similares se recogen en el proyecto Supersmart [5,6].

Por otro lado, la monitorización del supermercado Passivhaus de Hannover (Rewe supermarket) arroja un resultado de 240 kWh/m²·a [3]. El estudio no especifica si se estima en relación a la superficie en venta o en total; se estima que es consumo respecto del total de la superficie. No obstante, debido a que el estándar Passivhaus hace siempre referencia a la superficie útil total, entenderemos ese valor dado al respecto de la superficie útil del supermercado.

En cuanto a supermercados locales cabe destacar el proyecto LifeZeroStore para el desarrollo de supermercados con un balance cero de consumo; aunque no se ha encontrado la declaración de intensidad energética de los supermercados catalogados Zero de Eroski [9 y otros]. Por ello el paper no ha podido incluir comparación al respecto de estos supermercados.

El reparto de consumo entre usos para una tienda de alimentación tipo de EEUU, de mayor a menor importancia: Refrigeración (39%), ventilación y climatización (28%), Iluminación (23%), Resto (10%),

En climas más fríos (Suecia) el consumo de ventilación y climatización puede representar sólo un 13% del consumo), ascendiendo iluminación (27%) y Refrigeración (47%), Resto (13%).

En referencia al anterior local de la asociación (Gazalbide), y aún sin cumplir condiciones de calidad en la climatización, la intensidad energética en relación al área de venta (188 m²) es de 340 kWh/m²·a y de 220 kWh/m²·a en relación a la superficie total (290 m²).

Cabe señalar que Bio Alai no vende producto congelado ni elabora horneados. Por ello, el consumo energético va a ser más reducido que en un supermercado normal. Se estima que el horneado y preparación de productos puede suponer un +10 a +15% del consumo [1]. La refrigeración de los productos congelados podrían llegar a representar hasta un +15 a +25% de la intensidad energética de un supermercado [9]. Por ello podemos plantear que el consumo energético de la asociación, para ponerse en relación con otros supermercados a igualdad de productos en venta, puede mayorarse en torno a los +25 a +45%.

6. La envolvente térmica

En primer lugar, cabe señalar la distinta temperatura de los espacios. Por un lado, tenemos una tienda que puede estar en una temperatura adecuada (invierno, verano) entre los 18°C y los 24°C, mientras que la zona administrativa debe estar entre los 21 y

a result of 240 kWh / m² [3] The study does not specify whether it is analyzed in relation to the sale area or total built area or total useful area. We will take the assumption that it is estimated in reference of the total useful area; as it is the reference for Passivhaus measures.

As for local supermarkets, the LifeZeroStore project for the development of supermarkets with a zero energy consumption should be highlighted; although the declaration of energy intensity of Eroski Zero cataloged supermarkets has not been found; so no comparison has been made for the paper [9].

The distribution of consumption between uses for a US-type retail store, from highest to lowest importance is: Refrigeration (39%), ventilation and air conditioning (28%), lighting (23%), and rest (10%).

In colder climates (Sweden) the consumption of ventilation and air conditioning can represent only 13%

of consumption), increasing lighting (27%), refrigeration (47%), and rest (13%).

In reference to the previous premises of the association (Gazalbide), and even without complying with quality conditions in the air conditioning, the energy intensity in relation to the sales area (188 m²) is 340 kWh / m²·y; and 220 kWh / m²·y in relation to the total area (290 m²).

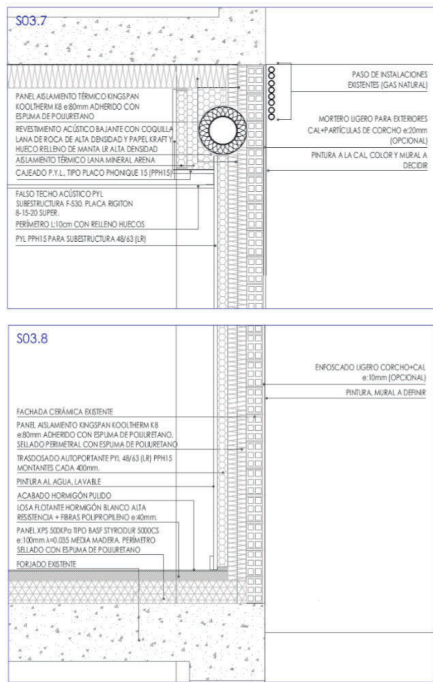
It should be noted that Bio Alai does not sell frozen products nor make any bakery.

It is estimated that baking and product preparation can account for +10 to + 15% of consumption [1]. Refrigeration of frozen products could represent up to +15 to + 25% of the energy intensity of a supermarket [9]. Therefore, we can state that Bioalai energy consumption can be increased by +25 to + 40%, in order to be compared with other supermarkets in equal products for sale.

6. The thermal envelope

First of all, it is worth noting the different temperature of the spaces. First, we have a shop that can be at an appropriate temperature (winter, summer) between 18°C and 24°C. Meanwhile, the administrative area must be between 21-24°C; just like the social zone during times of use. Finally, the warehouse may be below 15 °C without further problem. So it is important to understand the real needs of the use it serves must be taken into account.

The thermal envelope is decided from a cost estimation and investment depreciation study; taking into account the difference in temperatures between the areas they serve and the adjoining spaces (street, access to garages, portals, other shops and enclosu-



los 24°C; al igual que la zona social durante los momentos de uso. Mientras, el almacén puede estar por debajo de los 15°C sin mayor problema. Es decir, hay que tener en cuenta las necesidades reales del uso al que sirve.

La envolvente térmica se decide a partir de un estudio de estimación de coste y amortización de la inversión; teniendo en cuenta la diferencia de temperaturas entre las zonas a las que sirven y los espacios contiguos (calle, acceso a garajes, portales, otras tiendas y recintos...)

En la medida de lo posible se acomete con materiales de bioconstrucción (corcho negro aglomerado) dejando, para suelo y techo materiales de tipo técnico.

El suelo se aísla con 3+4cm de XPS montado en 2 capas; siendo la primera de alta capacidad portante (5MPa) y la segunda del tipo estándar; con la intención de ajustar costes.

También para adecuar los costes ajustamos los espesores de los aislamientos de fachadas y trasdoses según el local contiguo (exterior, portales, entrada a garaje, otros locales...) y el uso interior. El aislamiento varía desde los 490mm de corcho negro aglomerado hasta los 120mm de corcho con 70mm de lana mineral.

Para el techo se emplea el aislamiento de resina fenólica Kooltherm K8 ya que permite, desde el punto de vista legal y sanitario dejar el falso techo visto. Se aísla el techo en contacto con el exterior con

res...)

As far as possible, it is undertaken with bioconstruction materials (agglomerated black cork) leaving technical materials for the floor and ceiling.

The floor is isolated with 3+4cm of XPS mounted in 2 layers; the first being of high load capacity (5MPa) and the second of the standard type; with the intention to adjust costs.

To adjust costs (we also change the thickness of the isolation of the facades and drywalls depending on the adjacent space (outdoors, residential doorways and corridors, other stores...) varying from 40 mm cork to 120mm cork + 70mm mineral wool

The Kooltherm K8 phenolic resin insulation is used for the roof, since it allows, from the legal and sanitary point of view, to leave the false ceiling seen. The roof is isolated in contact with the exterior with 74mm isolation, while for the roof in contact with housing 41mm isolation is used. Perimeter and junctions are sealed properly, joints are taped with aluminum foil. Note that EDP of the Kooltherm isolation is asked and studied in order to accept it as a sustainable construction material.

Finally, the roof is hidden; by installing a false ceiling, based on heraklith boards (wood chips and magnesite) suspended in semi-concealed system (leaving only one profile seen).

For the windows a carpentry of pine wood with a capacity to house a triple low emissivity glass with

Figura 4. Una de las secciones constructivas y el montaje de aislamientos térmicos.

74mm mientras que, para el techo en contacto con vivienda se emplea 41 mm sellando encuentros y perímetro y encintando todas las juntas con cinta de aluminio. Nótese que se solicita y estudia el ACV del Kooltherm de cara a poder aceptarlo en el edificio como material sostenible.

Finalmente se instalará un falso techo registrable del tipo grandes luces (para reducir el número de perforaciones del aislamiento) a base de paneles de heraklith (fibras de madera y magnesita) suspendido en sistema semioculto (dejando sólo un perfil visto)

Para las ventanas se emplea una carpintería de madera de pino con capacidad de albergar un vidrio triple con doble bajoemisorio con laminado de seguridad (Ug:0,5). Para reducir costes se reducen la practicabilidad de las carpinterías a las puertas. En las zonas de uso de tienda y en las puertas se emplea un vidrio doble con bajo emisorio para una (Ug de 1,1).

Al respecto de la estanqueidad del local, no se trabaja ésta con objetivo específico (p.e. estándar Passivhaus) pero si se sellan, encintan y/o aíslan los pasos de instalaciones, las juntas de aislamientos y tableros de cerramientos con el principal fin de evitar las juntas térmicas (thermal gapping).

No se ha hecho prueba de estanqueidad.

7. Ventilación y climatización

La ventilación queda garantizada por un sistema de ventilación mecánica controlada con recuperador de calor capaz de mover hasta 2.000m³/h de la marca Soler & Palau. Dotando de calidad IDA2-IDA4 según la cantidad de gente. Para la distribución del caudal se recurre a una sonda de CO₂ que dirige una compuerta que divide el sistema en 2 sectores principales (tienda y zona social). Por desgracia, no es económicamente posible acometer un sistema de control de la ventilación de mayor precisión.

En la zona de oficina se instala un sistema independiente; sin recuperador de calor, para un caudal de 200m³/h. Se prevé la sustitución de éste por un sistema de VMC con recuperador de calor específico para instalar en la medida de lo posible durante el 2019. Durante el 2019 se lleva a cabo una medición de la calidad de al aire en la zona administrativa, con el resultado de valores medios en ocupación de 900-1100 ppm de CO₂ y alcanzando valores extremos de hasta 1450 ppm. Estos valores nos han permitido convencer al cliente para la mejora del sistema de ventilación con un equipo de ventilación con recuperador de calor Lossnay de 500m³/h.

El almacén consta también de sistema independiente con motores silenciosos para evitar tener que ejecutar la insonorización de la zona de almacén.

Para climatizar el local se recurre a 3 máquinas de AA

safety laminate (Ug: 0,5) is used. To reduce costs, the practicability of carpentry is reduced: no window can open; just the doors.

In the areas, which function as shops and in the doors, a double low emissivity glass is used. (Ug of 1.1).

Regarding the air tightness of the store, it was not a specific issue of the project (in contrast to standard Passivhaus projects)

Nevertheless the installation entrances, the insulation gaps and new enclosure were properly sealed with the main purpose of avoiding thermal gapping issues.

Air tightness test of the store has not been done.

7. Ventilation and air conditioning

The ventilation is guaranteed by a Soler & Palau controlled mechanical ventilation system with heat recovery, capable of moving up to 2,000m³ / h. Providing quality IDA2-IDA4 according to the number of people. For the distribution of the flow, a CO₂ probe is used, in order to command a gate that divides the system into 2 sectors (shop and social area). Unluckily more control of the ventilation system is too expensive to be included

In the office area an independent system will be installed; without heat recovery, for a flow of 200m³ / h. It is planned to be replaced with a VMC system with specific heat recovery, to be installed as far as possible in 2019. During 2019 CO₂ measurement of the administrative zone has been done in order to improve ventilation system in the administrative zone. We have found values of 900-1100 CO₂ ppm and an extreme of 1450 ppm. Values which help us convince clients to improve the system with a 500m³/h Lossnay heat recovery ventilation system.

The warehouse ventilation system consists of independent system with quiet in line ventilation motors in order to avoid acoustic isolation.

In order to acclimatize the premises: 3 Mitsubishi AC machines of 10kw thermal power each for the store and social place and a 3.5kw split machine for the administrative zona are used. The total sum of installed thermal power is only 33.5kW; about 53W / m². The installed power is half the usual for this kind of stores. The decision is given by a study of the thermal loads and demand of cold/heat in the room, to provide the space with the necessary comfort; with the minimum possible investment. The study indicated the possibility of acquiring smaller machines (7.5kw instead of 10kw) but the reduction of the investment didn't compensate the risk of being underpower. After 3 years of use we must note that the machines are rather used at the same time and full power. We



Figura 5. Estudio de iluminación con dialux y resumen de encendidos .

de Mitsubishi de 10kw para la tienda y zona social y un equipo split de 3.5kw para la zona de admón. Con ello tenemos una suma total de potencia térmica instalada de sólo 33.5kW; unos 53W/m². La decisión de apostar por una potencia instalada menor de la habitual viene dada por un exhaustivo estudio de las cargas térmicas y demanda de frío calor en el local para dotar al espacio del confort necesario; con la mínima inversión posible. Estuvimos barajando la posibilidad de adquirir máquinas más pequeñas pero la diferencia de inversión no compensaba el riesgo asumido de la propuesta. Cabe decir que las máquinas de aire acondicionado se encienden esporádicamente; ya que hay muy pocos días en los que son realmente necesarias. Durante estos 3 años de uso, no se ha tenido constancia de una falta de potencia para la climatización del local.

8. Central de producción de frío

Adicionalmente se instala una cámara frigorífica de obra con central de producción de frío para los murales. Se dimensiona la central de frío en previsión de una futura sustitución progresiva de los existentes. Al igual que con los ventiladores del almacén, se recurre a una máquina del tipo silenciosa. No obstante, y a pesar de la contratación de la máquina bajo especificación acústica determinada, la potencia

have had no day in which the workers felt a lack of power.

8. Central cold production system and refrigerated decks

Additionally, a refrigeration chamber is installed with a cold central production system for the refrigerated glassed multidecks. Future expansions are considered in order to replace open refrigerated independent multidecks

As with the warehouse fans, a silent type of machine is used. Despite asking the machine under acoustic specification, the sound power of it is much higher than that indicated in the contract files. This causes a complaint from one of the affected neighbors. Consequently, it was decided to check the origin of the noise, which were both the cold production central and the vibrations of the refrigerated chamber fans. That took us to retain the payments of the installed machine and the corresponding improving and soundproofing of the system by the installer of the centralized cooling system; at his expense.

9. Lighting

For lighting, the installation of LED panels of the

sonora real de la misma resulta muy superior a la señalada en fichas; llegando a tener mediciones de más de 60 db (mediciones efectuadas con el teléfono móvil). Dicho ruido, junto con las vibraciones de los ventiladores de las cámaras frigoríficas, conllevan una queja por parte de uno de los vecinos afectados. En consecuencia, se decide comprobar el origen del problema y retener los pagos de la instalación. Finalmente, el instalador acepta, a su costa, la mitigación de las vibraciones de los ventiladores de la cámara frigorífica y la insonorización del sistema de frío centralizado; no sin cierta reticencia por su parte.

A modo de apunte cabe destacar que hemos tenido que exigir al instalador el aumento de espesores de aislamiento en las cámaras frigoríficas y mejoras en el sistema de cierre de los murales (empleo de murales de congelados para productos fríos). Si bien la primera de las exigencias se pudo poner parcialmente en práctica, la segunda, muy a nuestro pesar, nos ha sido imposible.

9. Iluminación

Para la iluminación se recurre a la instalación de paneles LED de la marca Philips; en concreto coreline panel LED34S/840 PSU 60x60.

El objetivo es tener una iluminación lo más homogénea posible. Para ello se aprovecha la apertura del haz de luz (120°), el empleo de superficies lo más claras posibles y una potencia lumínica "normal"; buscando mantener la tienda en torno a los 300-400lm; iluminación suficiente para leer las etiquetas y conocer el producto. Y todo ello con una densidad de cargas internas de sólo 7.43W/m² para la zona de tienda y 6.40 W/m² para la zona social.

Cabe destacar que ésta es una asociación de consumo ecológico que no busca potenciar ni promover productos por encima de otros. La única referencia en la promoción de productos consiste en indicar el nombre del productor y, mediante un asterisco de color rojo, señalar los productos de origen local a los que la asociación sólo les sube el precio un 10% de lo que cobra el agricultor o productor. En Bio Alai, por filosofía, no puede haber iluminación de venta ni de refuerzos; más aún si ello implica una mayor inversión en iluminación y en aire acondicionado (aumento de cargas internas).

Para comprobar el correcto funcionamiento de los supuestos se emplea como herramienta de cálculo el DIALUX.

La disposición de los paneles sigue un sentido geométrico, adaptándose a la compleja forma del local, lo que permite mantener una armonía en la tienda que, junto con el confort acústico, incide en la relajación de compradores y trabajadores

brand Philips is used; in particular coreline panel LED34S / 840 PSU 60x60.

The objective is to have a lighting as homogeneous as possible. For this purpose, the light beam opening angle (120°), the use of the clearest possible surfaces and a "normal" light output are used; in order to keep the store around 300lm; which is enough lighting to read the labels and recognize the product virtues.

It should be noted that this is an ecological consumer association that does not seek to promote some products over others. The only reference related to promotion is marking with a red star the products of local origin which are associated with Bio Alai so only a 10% of the production cost is added to the cost of the product. In Bio Alai there cannot be neither sales lighting nor reinforcements; especially if this implies a greater investment in lighting and air conditioning (due to the increased internal loads).

In order to verify the correct functioning of the assumptions, DIALUX is used as a calculation tool.

The layout of the panels follows a geometrical sense, even in spite of the complex shape of the premises, which allows keeping a harmony in the store, which together with the acoustic comfort, affects the relaxation of buyers and workers.

The distribution of lightning is also developed in order to allow a reduction of intensity and taken advantage of the natural illumination occurring near windows. Regulation is an on-off manual and depends on the criteria of the workers.

The lightning energy density installed is: 7,43 W/m² for sales area, 6,40 W/m² for social area, 4,92 W/m² for storage and 9,73 W/m² for the office.

These values are lower than those of the passive e-Park supermarket in Hannover (12 W / m²) or the usual ones in this type of use (25 W / m²). [8]

10. Looking after the economics

As it has been said throughout the paper, the economy has been fundamental for the development of the project.

In order to obtain this economy, a measured project is used, a 2 phase licitation and the direct contracting of special facilities by Bio Alai association.

The first licitation phase is used to choose a construction company. The second licitation allows us to work with the builder to be able to make, with definitive prices, the amortization study of materials and equipment and modify the project in order to adjust and reduce costs.

La distribución de encendidos se desarrolla para facilitar una iluminación homogénea de menor intensidad, facilitando la iluminación natural en las zonas cercanas a las ventanas. La regulación es puramente manual y depende del criterio de los trabajadores.

La eficiencia energética instalada es de: 7,43 W / m² para el área de ventas, 6,40 W / m² para el área social, 4,92 W / m² para el almacenamiento y 9,73 W / m² para la oficina. Estos valores son inferiores a los del supermercado pasivo e-Park de Hannover (12 W / m²) o los habituales en este tipo de uso (25 W/m²) [8].

10. Buscando la economía

Como se ha dicho a lo largo del documento, la economía de medios ha sido fundamental para el desarrollo del proyecto.

Para ello se recurre un proyecto comedido, una licitación en 2 fases y la contratación directa de instalaciones especiales por parte de la asociación como promotora.

La primera licitación, entre tres constructoras sirve para elegir constructora. La segunda fase de licitación nos permite trabajar con el constructor para poder hacer, con precios definitivos, el estudio de amortización de materiales y equipos y modificar el proyecto de cara a ajustar y reducir costes.

Dentro de los estudios ejecutados a partir de costes directos cabe destacar el desarrollo de un análisis simple de amortización para el ajuste de aislamientos térmicos respecto de la transmitancia del local y el consumo estimado. Para ello se recurre a una hoja de cálculo de confección propia en la que, de modo estático y con coeficientes de minusvaloración (orientación, defectos de ejecución, puentes térmicos y "thermal by pass" subyacentes al sistema, se analiza el consumo del local; incluyendo las cargas térmicas (maquinaria, iluminación, ocupación, equipamiento, radiación solar, ordenadores y puestos de trabajos, ...) y el aumento o reducción de costes en la instalación de climatización.

Se recurre al desarrollo de una hoja de cálculo específica por ser una herramienta de muy fácil ejecución, edición y comparación de diferentes escenarios.

Con los resultados de la hoja de cálculo resulta más fácil mostrar a la junta directiva la importancia de destinar gran parte del presupuesto de obra (239.147 €) en el aislamiento térmico (65.843€), carpinterías exteriores de altas prestaciones (13.260 €) y trasdosados térmicos (21.930 €). Además del presupuesto de obra, se destinan otros 22.872 € para la climatización del local y la ventilación con recuperación de calor y 31.000€ aprox. para central de frío y cámaras frigoríficas

Within the studies executed from direct costs, it is worth highlighting the development of an amortization analysis for the adjustment of thermal insulation, with respect to the local transmittance and the estimated consumption. For this purpose, a self-made spreadsheet is used in which the consumption of the premises is analyzed statically and with defect coefficients (such as orientation, job defects, thermal bridges and by passes). It includes the thermal loads (machinery, illumination, occupancy, equipment, sun radiation, computers...) and the increase or reduction of costs in the air conditioning installation.

The development of a specific spreadsheet is used because it is a very easy tool to execute, edit and compare different scenarios.

Based on the results of the spreadsheet, the board of directors is convinced of the importance of allocating a large part of the works budget (€ 239,147) in thermal insulation (€ 65,843), high-performance exterior carpentry (€ 13,260) and thermal backings (€ 21,930). In addition to the construction budget, another € 22,872 is allocated for the air conditioning of the premises and ventilation with heat recovery and € 31,000 for cold storage and cold rooms.

Of the total of the work, € 293,000 approximately, € 101,000, 34% of the investment correspond to the thermal envelope.

At the same time, they are part of the politics of economy of means:

- the lighting strategy
 - if the illumination should as homogeneous as possible, despite having reduced-contained values, if the set is homogeneous, the human eye (moderately healthy) does not perceive the difference between normal and high lumen standard
- the acoustic strategy
 - Incorporated machines, specifically ventilation and cold producing ones must be of superior acoustic quality, so soundproofing can be reduced or avoid.
 - It is a risky decision, but it can be profitable even more if we consider the workers and consumer health and comfort perception.
- minimization of electrical installations
 - it is necessary to adapt the facilities to the current use; allowing evolution and leaving room for it.
- reduction of finishing works

Es decir, del total de la obra, 293.000 € aproximadamente, 101.000 €, un 34% de la inversión corresponden con el aislamiento de la envolvente (aislamientos, trasdosados y carpinterías exteriores).

A su vez, la política de economía de medios conlleva el desarrollar el proyecto de un modo sensato:

- estrategia lumínica
 - la iluminación debe ser homogénea, a pesar de tener valores reducidos-contenidos, el ojo humano (medianamente sano) se adapta muy bien en entornos de luminosidad media (300 lm) para actividades que no requieran gran detalle visual
- estrategia acústica
 - el empleo de equipos de baja sonoridad (máquinas de aire acondicionado y ventilación, compresor de central de frío...) permiten reducir, o eliminar los costes de una insonorización específica del local.
 - Es una decisión arriesgada, pero que, en caso de funcionar bien resulta muy rentable. Más aún si tenemos en cuenta la salud laboral y la percepción de confort de los compradores.
- minimización de instalaciones eléctricas
 - hay que adecuar las instalaciones al uso actual y cercano; facilitando y dejando espacio para la progresión de las instalaciones.
- reducción y simplificación de acabados
 - los acabados del local son simples y sencillos:
 - el suelo es lo más económico y ligero posible:
 - para la tienda se emplea una solera de hormigón de unos 5-6 cm de espesor armada con fibras de polipropileno y acabado en resinas válidas en entornos alimentarios.
 - Para el local se emplea una tarima de pino sobre enrrastrelado de madera sobre aislamiento térmico y cámara rellena de granulado de corcho.
 - el falso techo, quizás una de las partidas más caras no relacionadas directamente con el aislamiento térmico, aporta salubridad, ocultación de las instalaciones y un excepcional confort acústico.
 - aprovechamos la experiencia y posibilidades de la constructora elegida (una empresa basada en la carpintería) para desarrollar soluciones económicas basadas en
 - the finishes of the premises are simple and neat:
 - the floor is as economic and light as possible:
 - for the shop, a 5-6 cm thick concrete slab, reinforced with polypropylene fibers and finished in valid resins in food environments, is used.
 - for the association zone, a cheap pine wooden platform filled with cork granules is used.
 - the ceiling, perhaps one of the most expensive items not directly related to thermal insulation, provides healthiness, concealment of the facilities and acoustic comfort for which it is worth the investment.
 - we take profit of the knowledge and possibilities of the contractors (mainly carpenters) in order to develop economic solutions based on carpentry (facade, corners and column protections, separations, decking...)
 - knowing and studying the construction systems
 - It is important to understand the functioning and needs of the store in order to develop the construction systems, simplifying and eliminating everything which is unnecessary.
 - assuming inevitable imperfections
 - Regarding the slab, from the beginning it is assumed that there is a difference in height between one point
 - and another of the store of about 25cm; that cannot be avoided. There are areas where the shopping carts move alone. To avoid this, we place strings on the wheels to increase friction, so they find hard to move.
 - The structure of the slab cannot be reinforced. A study of admissible loads of the shelves and pallets is made; and it is explained to the operators so they can follow it easily.
 - Windows are fixed. Ventilation is developed through its own system and, if needed, doors can be opened
 - There are no skylights. A 30-year-old impermeabilization cannot be modified if you want to keep your budget under control.

All this allows us to have a PEC + facilities of € 293,000 for the development of a commercial space of 632m² built. That estimates a cost of 463 € / m² c.

la carpintería (fachada, protecciones de esquinas, mamparas, elementos de mobiliario y estanterías...)

- conocer y estudiar los sistemas constructivos
 - Se debe conocer el funcionamiento y las exigencias del local para poder desarrollar las secciones constructivas; simplificando y eliminando todo aquello prescindible.
- asumir imperfecciones inevitables
 - al respecto del suelo, desde el principio se asume que hay una diferencia de cota entre una punta y otra del local de unos 25 cm; que no se puede salvar. Hay zonas en las que los carros de la compra se mueven; porque el suelo no es horizontal. Para evitarlo se recurre a colocar cordeles en las ruedas para aumentar ligeramente la fricción de los carros
 - La estructura de forjado por economía y reticencias vecinales no se puede reforzar. Se hace por tanto un estudio de cargas admisibles de las baldas y paletizaciones; y se explica a los operarios.
 - Se emplean ventanas fijas. La ventilación se desarrolla con el sistema; y en caso extremo con la apertura de puertas.
 - no hay lucernarios ya que no se deseaba tocar una impermeabilización de 30 años de edad. Hubiese sido muy probable que nos hubiese tocado rehacer completamente la impermeabilización.

Todo ello nos permite tener un PEC + instalaciones de 293.000 € para el desarrollo de un local comercial de 632m² construidos. Es decir, un coste de: 463 €/m² c.

11. Herramientas de cálculo y valoración

Para poder hacer la toma de decisiones se ha estudiado y modelado el local según distintas opciones disponibles.

Podríamos haber tratado de emplear programas de cálculo intensivo, con valoración del comportamiento energético hora a hora, programas de tipo exhaustivo, pero, aparte de un coste difícil de asumir, nos hubiese faltado la rapidez y adaptabilidad que una buena hoja de cálculo aporta.

Por ello, para los cálculos energéticos y control de costes y amortización de la inversión desarrollamos una hoja de cálculo partiendo de las que ya tenía desarrolladas para el proyecto de investigación sobre la rehabilitación ecoeficiente de edificios de viviendas de Vitoria-Gasteiz, trabajo publicado en CONAMA 2011: Estudio sobre la edificación Eco-eficiente para

11. Calculation and assessment tools

In order to make the decision, the store has been studied and modeled according to different available options.

We could have tried to use intensive calculation programs, with assessment of energy behavior hour by hour, but we would have lacked the speed and adaptability that a good spreadsheet provides.

For this reason, for energy calculations and cost control and investment amortization, we developed a spreadsheet based on the ones already developed for the research project on eco-efficient rehabilitation of residential buildings in Vitoria-Gasteiz, work published in CONAMA 2011: Study on the Eco-efficient building for the housing of residential buildings in Vitoria-Gasteiz, GÓMEZ IBORRA, Iker)

From that work, it was necessary to estimate the internal thermal loads (analysis of machinery, illumination and occupation), the solar loads (modeling of radiation received with Energy plus), the energies in heating the air, etc.

With all this, it is possible to work with the thermal envelope to assess the estimated consumption, the thermal needs and the amortization of the investments for the efficiency of the equipment.

To finish, it is necessary to make an energy certification, resulting in an A qualification

12. Data gathering while use

During this time the consumption has been monitored in a simple way.

On first instance we thought on monitoring the energy consumption depending on the use (cold production, climatization, lightning...) but it has not been possible due to the lack of resources.

As said during the paper, the resources have been used in the most sensible way possible; and the monitoring, although interesting, can't meet the economic possibilities of the association.

That is why the monitoring of the premises focuses on the study, and explanation of energy consumption from the invoices of energy provider cooperative Goiener. Note that this store is one of the first stores to be served in three phase current by Goiener ecologic energy cooperative.

In a simple way several facts can be noticed:

- there is a time of adaptation to the premises so that the consumption is adapted to a stable work base. Until then the workers do not manage to

la envolvente de los edificios residenciales de Vitoria-Gasteiz, GÓMEZ IBORRA, Iker)

A partir de ese trabajo, tocaba estimar las cargas térmicas internas (análisis de máquinas y ocupación) las solares (modelización de radiación recibida con Energy plus), las energías en calentar el aire, etc.

Con todo ello es posible trabajar con la envolvente para valorar el consumo estimado, las necesidades térmicas y la amortización de las inversiones por eficiencia de los equipos.

Para finalizar es necesario hacer una certificación energética, dando como resultado una calificación de A.

12. Datos del uso y monitorización

Durante este tiempo se ha monitorizado el consumo energético; de modo simple.

En su momento se planteó la posibilidad de monitorizar el consumo energético por sectores (central de frío y cámaras, climatización, iluminación) mediante un sistema acoplado en el cuadro de distribución eléctrica; pero no ha sido posible por falta de recursos.

Como se ha dicho los recursos se han tratado de emplear del modo más sensato posible; y la monitorización si bien es interesante, se escapa de las posibilidades económicas de la asociación a corto plazo

Es por ello que la monitorización del local se centra en el estudio de los consumos energéticos a partir de las facturas del distribuidor eléctrico Goiener. Nótese que éste es uno de los primeros locales en trifásico servidos por Goiener. (cooperativa eléctrica)

De modo sencillo se pueden apreciar varios hechos:

- Se ha conseguido reducir el consumo energético mejorando las cotas de confort.
- El consumo energético es estable, sin picos
- Existe un tiempo de adaptación al local para que se adapten los consumos a una base de trabajo estable, hasta entonces los trabajadores no controlan del todo los sistemas de climatización y cometen fallos que llevan a un exceso de consumo como:
 - poner innecesariamente los sistemas de climatización
 - no aprovechar el mapa de circuitos de iluminación
 - no cerrar la puerta de las cámaras frigoríficas al ordenar los productos para almacenar o reponer.
 - poner temperaturas de consigna inal-

control the systems and they can make some errors:

- heating and cooling unnecessarily
 - not using properly the lightning zoning
 - not closing the door of the refrigerated storage rooms when storing or replenish products
 - improper use of AC system due to asking them unreachable setpoint temperatures; so energy consumption rises and machines can broke down due to continuous full speed demand.
- Once this base of work is reached, it is necessary to remember occasionally the need to control and monitor consumption. The constancy allows to maintain a tight consumption.
 - The replacement of the old independent open refrigerated decks by closed one's cold production system dependable is also noticeable.

All this means that the consumption of the premises has evolved from 95.78 kWh / m²b-y in the 2016-2017 period down to 88.6 kWh / m²b-y for the 2018-2019 period.

This means a reduction of consumption of 8.7%; most of it due to the adaptation of the workers to the new store.

The total annual electricity consumption has been, on average, about 58,850 kWh per year (2016-2019 period);

In relation to the sales area (300m²), the store has obtained an average energy intensity of 196,2 kWh / m²s · year. Reaching in the 2018-2019 the value of 186,7 kWh / m²s-y. These values are much lower than the projection indicated at point 6 of this paper: 1,289 and 1,053 kWh / m²v · year. That is, the actual consumption of the premises is being between 15 and 19% of the UK estimates.

Regarding the total area of the premises at (632m²), the consumption for the period 2018-2019 is 88.6 kWh / m²b-y.

Regarding to the useful area for the use of a supermarket (431 m² without counting the exhibition area, or access or other irrelevant spaces for the supermarket), the consumption for the period 2018-2019 is 129.9 kWh / m²u-y.

The specific consumption of air conditioning could not be measured. However, it is estimated that this will mean between 10-20% of total consumption: 13-26 kWh / m²u-y

canzable en los equipos de climatización, hace que se disparen los consumos y que se estropeen las máquinas por estar funcionando a tope.

- Una vez alcanzada esa base de trabajo, es necesario recordar ocasionalmente la necesidad de tener un control y seguimiento del consumo. La constancia permite mantener un consumo ajustado.
- El reemplazo de cámaras frigoríficas abiertas independientes por cámaras cerradas conectadas a la central de frío también se deja notar

Todo ello hace que el consumo del local haya evolucionado desde los 95,78 kWh/m²c-a del periodo 2016-2017 hasta los 88,6 kWh/m²c-a del periodo 2018-2019.

Ello supone una reducción del consumo del 8,7%; parte de ello debido a la adaptación de los trabajadores a la gestión y manejo de la nueva tienda.

El consumo eléctrico total anual, ha sido, de media, de unos 58.850 kWh anuales (periodo 2016-2019); con lo que, en relación con el área de venta (300m²), tenemos un resultado de unos 196 kWh/m²v-año y un resultado de 186,7 para el periodo 2018-2019. Estos valores son muy inferiores a la proyección señalada en el punto 6: 1.289 y 1.053 kWh/m²v-año. Es decir, el consumo real del local está siendo de entre el 15 y el 19% de las estimaciones tipo.

Respecto del área total del local a (632m²), el consumo para el periodo 2018-2019 es de 88,6 kWh/m²c-a.

Respecto de la superficie útil destinada al uso de supermercado (431 m² sin contar la zona de exposiciones, ni accesos u otros espacios irrelevantes para el supermercado), el consumo para el periodo 2018-2019 es de 129,9 kWh/m²u-a.

El consumo específico de climatización no se ha podido medir. No obstante, se estima que ésta supondrá entre un 10-20% del total del consumo: 13-27 kWh/m²u-a.

13. Conclusions

This paper wants to show that, to develop a project of low energy consumption simple ways can be used. Although interesting, we architects are not obliged to use exquisite calculation tools (high accuracy at a high cost) or to build with high cost materials or get to an exhaustive monitoring and gathering of data. We architects can, and must, adapt to the possibilities to design buildings and premises with very low energy consumption; even despite having few means available.

To do this we must understand how buildings (and their uses) work and then put some imagination and creativity in order to develop a good project.

It is necessary that all involved professionals developing the project, the construction or its systems are involved in achieving a low energy project. It is remarkably difficult to make a non-believer to work with the precision and the detail that a low energy consumption construction demands.

In addition, it should be noted that the saving potential of retail stores is enormous.

In this case, even when there is no adequate compactness, nor advanced control and management systems, and even knowing that there are various possible improvements in the refrigeration systems, Bioalai store has managed to reduce the energy intensity between 80-85% compared to the usual of this type of International uses.

If compared to the previous location of the association, energy consumption has been reduced with respect to the sales area by 45% and, with respect to the total area by 60%; getting better HVAC conditions.

If compared to the Rewe supermarket (Passivhaus certificate) in Hannover (intensity Energy monitored of 240 kWh / m²) also Bio Alai stands favorably with an intensity per useful area of 129.9 kWh / m²a, 55% of consumption. However, more knowledge is needed from Rewe supermarket (products for sale,

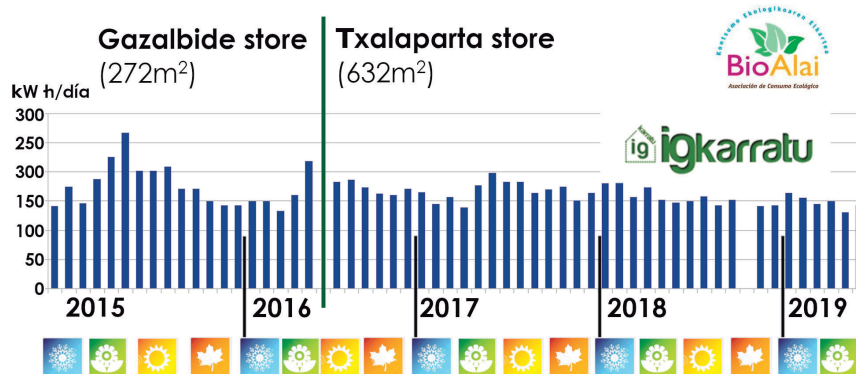


Figura 6. Gráfica de consumos de la asociación hasta la fecha.

13. Conclusiones

Lo que se traslada en esta ponencia es que, para desarrollar un proyecto de bajo consumo energético no hace falta emplear unas herramientas de cálculo exquisitas (de gran exactitud, pero de elevado coste), o solucionar las secciones constructivas a base de aumentar el presupuesto, o ir a una monitorización exhaustiva, los arquitectos podemos, y debemos, adaptarnos a las posibilidades para proyectar edificios y locales de muy bajo consumo energético; aun a pesar de tener pocos medios disponibles.

Para ello hay que saber cómo funcionan los edificios, tener algo de imaginación y creatividad, y aplicarse en la tarea de proyectar.

Es fundamental contar con profesionales comprometidos con el desarrollo de un proyecto de bajo consumo energético. Si las empresas contratadas no están concienciadas, exigirles que trabajen con el grado de detalle necesario se convierte en una tarea inagotable.

Además, se debe señalar que el potencial de ahorro de las tiendas de alimentación es enorme.

En este caso, aún cuando no se cuenta con la compactidad adecuada, ni tampoco sistemas de gestión y control avanzados, y teniendo en cuenta diversas mejoras posibles en el conjunto de refrigeración, se ha conseguido reducir la intensidad energética entre un 80-85% respecto del habitual de este tipo de usos a nivel internacional.

A su vez, en comparación con el local previo de la asociación, se ha reducido el consumo energético respecto del área de venta en un 45% y, respecto del área total en un 60%; consiguiendo mejores condiciones de climatización.

Al respecto del supermercado con categoría Passivhaus (Rewe supermarket) en Hannover, de intensidad energética declarada 240 kWh/m²a también Bio Alai, con una intensidad por superficie útil de 129,9 kWh/m²a, se sitúa de modo favorable, 55% de consumo.

Se debe tener en cuenta que, debido a la ausencia de productos congelados o de horneados, se puede aumentar la intensidad energética de Bio Alai en un +25 a + 45% para una comparativa en similares condiciones de servicio.

En cualquier caso, la tienda de Bio Alai es uno de las de menor intensidad energética de su categoría a nivel internacional.

refrigeration systems, baking, compactness) and monitoring more exhaustive of Bio Alai to be able to make a better comparison.

Note that due to the lack of frozen products nor bakery, consumption of Bio Alai can be increased up to +25 or +45% in order to be properly compared with other supermarkets.

Nevertheless Bio Alai food retail store energy intensity is one of the lowest worldwide of its category.



Figura 7.
Imágenes del local terminado.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Energy consumption and conservation in food retailing, S.A. Tassou*, Y. Ge, A. Hadawey, D. Marriott, UK, 2010.
- [2] Energy Usage in Supermarkets - Modelling and Field Measurements Jaime Arias 2005.
- [3] Deliverable D5.4.1 "Common evaluation of the beacons implemented within PassREg", Darmstadt and Milano, 2015.
- [4] Performance indicators for energy efficient supermarket buildings Sietze M. van der Sluisa, Ulla lindbergb, Anna-Lena Laaneb, Jaime Arias; 12th IEA Heat Pump Conference 2017.
- [5] State of the arte Retail SME Energy CheckUP, IEE/13/384/S12.675577, CIRCE, Polonia (data > 2013).
- [6] SuperSmart., Expertise hub for a market uptake of energy-efficient supermarkets by awareness raising, knowledge transfer and pre-preparation of an EU Ecolabel. Varios documentos, 2017-2019.
- [7] Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS), USDA, NREL, 2012.
- [8] PassregSOS / Zero e-park Supermarket.
- [9] LIFEZEROSTORE - Supermarket retrofit for zero energy consumption, LIFE12 ENV/ES/000787.
- [10] Energy Savings Potential and RD&D Opportunities for Commercial Building HVAC Systems, USDA, NREL, 2017.
- [11] Strategies to Save 50% Site Energy in Grocery and General Merchandise Stores , Adam Hirsch, Elaine Hale, and Matthew Leach, National Renewable Energy Laboratory, 2010 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- [12] Development of Commercial Building Shell Heating and Cooling Load Factors U.S. EIA , 2018.
- [13] Energy-Efficient Supermarket Heating, Ventilation, and Air Conditioning in Humid Climates in the United States, J. Clark USDA National Renewable Energy Laboratory, 2015.
- [14] Commercial Building Design Pathways Using Optimization Analysis, Nicholas Long, Adam Hirsch, Chad Lobato, Daniel Macumber National Renewable Energy Laboratory 2010.
- [15] Guía de auditorías energéticas en supermercados, Juan A. de Isabel García, Mario García Galludo, Carlos Egidio Ramos Fenercom. Madrid 2012.

Rehabilitación y eficiencia energética del edificio “Lagos Park” en Madrid

Rehabilitation and energy efficiency of “Lagos Park” building in Madrid

M^a Eugenia Maciá-Torregrosa¹, J. Camacho-Diez¹

ABSTRACT

El estudio de Arquitectura Camacho-Maciá Arquitectos junto con Q-Arquitectos resultó ganador del concurso para la reforma integral, funcional y energética del complejo “LagosPark”, un edificio de 141 apartamentos. La construcción, situada en Molino de la Hoz en Galapagar (Madrid), fue edificada en 1992 con uso de edificación residencial pública. A través de este artículo se explica la toma de decisiones en la rehabilitación energética y funcional de una edificación residencial pública singular.

La antigüedad de la edificación, los deficientes sistemas constructivos empleados en su momento, la ausencia de labores mínimas de mantenimiento... son algunos de los aspectos que han provocado el deterioro de la construcción y su escaso rendimiento en relación al ahorro energético. Por otro lado, los cambios en la legislación vigente, unidos a las necesidades de los propietarios del inmueble, han propiciado la introducción de soluciones y estrategias de rehabilitación energética singulares.

De manera general, las principales estrategias de rehabilitación energética que se han realizado en esta edificación han sido las siguientes:

- Al tratarse de la rehabilitación de un edificio existente se han adoptado los Criterios generales de aplicación para edificación existente, generando el cumplimiento del CTE en los elementos donde se actúa.
- En particular para el cumplimiento del CTE.DB-SI se han propuesto distintas mejoras para el cumplimiento del código de los elementos modificados por la reforma (nuevas salidas de evacuación, generación de espacios vestibulados en planta sótano y baja, renovación de la infraestructura de detección de incendios y dotaciones necesarias de ventilación de escaleras y vestíbulos).
- El objeto fundamental de la reforma se ha destinado a la adecuación energética y funcional de la promoción a través de la mejora de las envolventes del edificio (cerramientos y cubierta), así como la sustitución de las carpinterías.
- Las escaleras y pasillos existentes, no se han modificado, actuando únicamente con trabajos de mantenimiento para su renovación.
- Se ha propuesto una modificación de las instalaciones de climatización, a sistemas de mayor sostenibilidad al existente (hilo eléctrico radiante por techo).
- La actuación tanto en los cerramientos como en las instalaciones de climatización ha conseguido una mejora significativa energética global del inmueble.

Gracias a la rehabilitación realizada y teniendo en cuenta las características energéticas del edificio, la envolvente térmica, sus instalaciones, las condiciones de funcionamiento y ocupación... se ha conseguido obtener una calificación energética A del edificio mediante la Herramienta Unificada Lider-Calener (HULC) según la escala de valores a la que hace referencia el Real Decreto 235/2013.

Key Words: rehabilitación, reforma integral, eficiencia energética, envolventes, uso residencial

(1) Universidad San Pablo CEU. Campus Montepíncipe s/n. Boadilla del Monte. 28668 Madrid, +34 913724856, memacia@ceu.es

1. Introducción

La promotora Ikasa convocó en junio de 2015 un concurso restringido de ideas, con el objeto de elegir la mejor propuesta de actuación para su promoción "LagosPark" en Molino de la Hoz (Madrid). A tal efecto convocó al citado concurso a alguno de los más prestigiosos estudios de arquitectura de Madrid, resultando ganadora la propuesta de CMA+Q bajo el lema "Smart living in Nature".

Existen trabajos (1) sobre rehabilitación de viviendas construidas durante los años 70 a través de los cuales podemos observar el análisis de las patologías comunes existentes de la época y verificar el cumplimiento de diferentes soluciones constructivas que permitan el nuevo uso del edificio. A través de algunos estudios (2) es posible analizar cómo se han rehabilitado edificios mediante la descripción detallada de aspectos funcionales, condiciones de seguridad estructural, grado de aislamiento térmico, condiciones acústicas, de protección contra incendios, accesibilidad y mantenimiento de estos, que elaboran propuestas dirigidas a reducir las diferencias más notables. Hay autores (3) que proponen metodologías para la evaluación constructiva de fachadas en la rehabilitación de viviendas sociales. Esta evaluación persigue valorar su repercusión en la calidad del ambiente interior, y en la reducción de la demanda energética para acondicionamiento térmico. A través del análisis de algunos estudios realizados por otros autores (4) es posible analizar cómo los sistemas de aislamientos térmicos por el exterior ETICS/SATE realizados con lana mineral mejoran el comportamiento acústico respecto a la fachada inicial y respecto a sistemas realizados con Paneles de Poliestireno Expandido (EPS). Existen numerosos estudios (5) sobre comparativas entre diversas soluciones de fachada respecto de un mismo edificio. A través esos estudios se pueden comprobar los porcentajes de mejora que se obtienen de unas soluciones a otras.

La principal estrategia de rehabilitación de la edificación existente en el proyecto "LagosPark" se ha basado en la mejora de su comportamiento energético. Diversos países están adaptando sus metodologías para la evaluación energética de sus viviendas de manera sencilla con el fin de que los arquitectos puedan interactuar con las herramientas y obtener resultados de manera sencilla y eficaz (6).

El costo de la electricidad ha aumentado, las viviendas tienen un diseño deficiente y se ha realizado un uso inapropiado de recursos materiales. Estos, junto a las nuevas exigencias energéticas, son algunos de los factores que más han incidido en la necesidad de crear una metodología sencilla para el proyectista que sólo tuviera que aportar datos con los que está más familiarizado: localización del proyecto, la envolvente, los materiales que la componen y los sistemas de producción energéticos.

1. Introduction

The promoter Ikasa convened in June 2015 a restricted contest of ideas, in order to choose the best proposal for action for its "LagosPark" promotion in Molino de la Hoz (Madrid). For this purpose, the aforementioned competition for the most prestigious architecture studios in Madrid was called, resulting in the winner of the CMA + Q proposal under the slogan "Smart living in Nature".

There are works (1) on rehabilitation of houses built during the 70s through which we can observe the analysis of the common existing pathologies of the time and verify the fulfillment of different constructive solutions that allow the new use of the building. Through some studies (2) it is possible to analyze how buildings have been rehabilitated through the detailed description of functional aspects, structural safety conditions, degree of thermal insulation, acoustic conditions, fire protection, accessibility and maintenance of these, which elaborate proposals aimed at reducing the most notable differences.

There are authors (3) that propose methodologies for the constructive evaluation of facades in the rehabilitation of social housing. This evaluation aims to assess its impact on the quality of the indoor environment, and on the reduction of energy demand for thermal conditioning. Through the analysis of some studies carried out by other authors (4) it is possible to analyze how thermal insulation systems by external ETICS / SATE made with mineral wool improve the acoustic behavior with respect to the initial façade and with respect to systems made with Expanded Polystyrene Panels (EPS). There are numerous studies (5) on comparisons between different façade solutions regarding the same building. Through these studies you can check the percentages of improvement that are obtained from one solution to another.

The main rehabilitation strategy of the existing building in the "LagosPark" project has been based on the improvement of its energy performance. Several countries are adapting their methodologies for the energy evaluation of their homes in a simple way so that architects can interact with the tools and obtain results in a simple and effective way (6). The cost of electricity has increased, homes are poorly designed and inadequate use of material resources has been made. These, together with the new energy demands, are some of the factors that have most influenced the need to create a simple methodology for the designer who only had to provide data with which he is more familiar: location of the project, the envelope, the materials that compose it and energy production systems.

There are studies (7) that analyze the energy demand of a building based on its architectural, constructive and operational characteristics. In this way, passive

Existen estudios (7) que analizan la demanda energética de un edificio en función de sus características arquitectónicas, constructivas y operacionales. De esta manera se proponen medidas pasivas o activas de mejora respetuosas con el grado de protección del edificio y la conservación del valor arquitectónico del mismo. El camino hacia edificios con consumo casi nulo exige una alta eficiencia energética (8).

2. Objetivo

El objetivo principal del proyecto consiste en rehabilitar el edificio de apartamentos "Lagospark" mediante una reforma integral, funcional y energética que permita su adaptación a la normativa actual.

Se pretende una rehabilitación global resultando finalmente un edificio de 151 apartamentos (141 existentes +10 de nueva creación) ubicados en 4 plantas, además de un sótano destinado a aparcamiento. El aumento de volumen construido se compensa por la demolición del antiguo cuerpo de restaurante.

Para ello, es necesario justificar cada uno de los requisitos básicos que el Código Técnico de la Edificación exige con el fin de garantizar no sólo su cumplimiento sino alcanzar las máximas prestaciones del edificio.

3. Situación general

3.1 Descripción del edificio

El complejo "LagosPark" es un edificio de 141 apartamentos ubicados en planta baja más 4 plantas, además de un sótano destinado a aparcamiento (Fig. 1). La construcción fue edificada en 1992 para uso como edificación residencial pública. Se trata de un edificio en bloque aislado, centrado en la parcela en el entorno inigualable del embalse sobre el río Guadarrama. Existe un espacio de soportal abierto a los jardines interiores y piscina. La parcela dispone de ajardinamientos en casi su totalidad, abundante arbolado, (respetado tras la reforma) y dotación renovada para usos deportivos. Además, se han catalogado pormenorizadamente todos los árboles mayores de 10 años o con tronco superior a 20cm, su localización y estado.

La situación real de la edificación antes de la actuación tenía muy serios problemas tanto en la elección del sistema de producción climática como en las envolventes construidas. Para la calefacción se dotó de un sistema de hilo radiante por techo que resultó absolutamente ineficiente e incapaz de dotar de mínimas condiciones de confort a las viviendas (estratificación térmica). Por otro lado, las envolventes existentes presentaban una escasa capacidad aislante y numerosas patologías derivadas de la existencia de puentes térmicos.

Debido a las escasas exigencias del desarrollo nor-

or active improvement measures are proposed that respect the degree of protection of the building and the conservation of its architectural value. The road to buildings with almost zero consumption requires high energy efficiency (8).

2. Objective

The main objective of the project is to rehabilitate the apartment building "Lagospark" through a comprehensive, functional and energy reform that allows its adaptation to current regulations.

It is intended a global rehabilitation finally resulting in a building of 151 apartments (141 existing +10 newly created) located on 4 floors, plus a basement for parking. The increase in built volume is compensated by the demolition of the old restaurant body.

For this, it is necessary to justify each of the basic requirements that the Technical Building Code requires in order to guarantee not only its compliance but also to achieve the maximum performance of the building.

3. General situation

3.1 Description of the building

The "LagosPark" complex is a building of 141 apartments located on the ground floor plus 4 floors, plus a basement for parking (Fig. 1). The construction was built in 1992 for use as a public residential building. It is an isolated block building, centered on the plot in the incomparable environment of the reservoir on the Guadarrama river. There is an arcade space open to the interior gardens and swimming pool. The plot has landscaped almost entirely, abundant trees, (respected after the reform) and renewed provision for sporting purposes. In addition, all trees older than 10 years or with a trunk greater than 20cm, their location and condition have been cataloged in detail.

The real situation of the building before the action had very serious problems both in the choice of the climate production system and in the built envelopes. For the heating it was equipped with a radiant roof system that was absolutely inefficient and incapable of providing minimum comfort conditions to the homes (thermal stratification). On the other hand, the existing envelopes presented a low insulating capacity and numerous pathologies derived from the existence of thermal bridges.

3.2. General strategies for compliance with current regulations

Due to the scarce requirements of the normative development existing at the end of the 90's, the fundamental strategy of the reform has been essentially destined to the energetic and functional adequacy

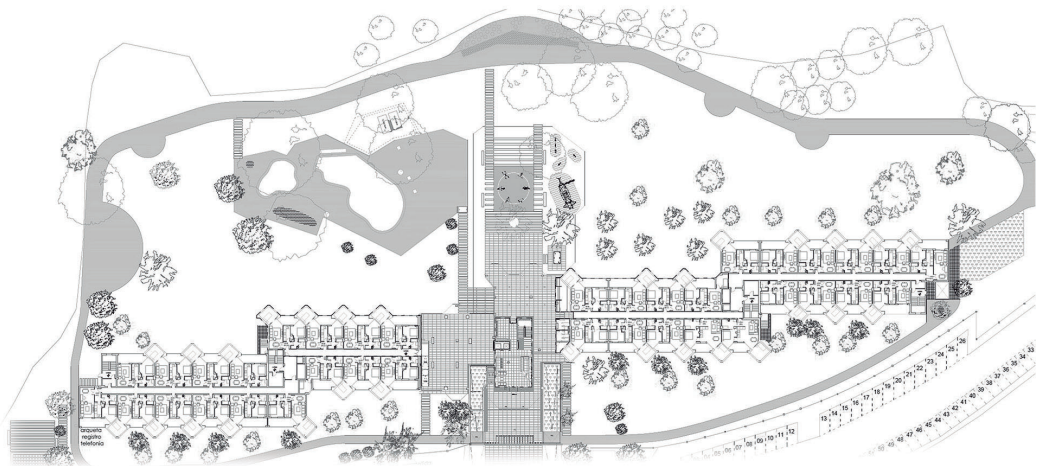


Figura 1.
Imagen general del edificio y el entorno. Planta general de la distribución de los apartamentos.

mativo existente a finales de los años 90, la estrategia fundamental de la reforma se ha destinado esencialmente a la adecuación energética y funcional de la edificación a través de la mejora de las envolventes del edificio, así como la renovación en la producción energética.

Al tratarse el presente proyecto de una rehabilitación de un edificio existente, se han adoptado los criterios generales de aplicación para edificación existente, generando un cumplimiento del CTE en los elementos donde se actúa (no así en los elementos donde no se actúa y que requieren únicamente trabajos de mantenimiento).

En particular para el cumplimiento del CTE.DB-SI se han propuesto distintas mejoras para el cumplimiento del código de los elementos modificados por la reforma (nuevas salidas de evacuación, generación de espacios vestibulados en planta sótano y baja, renovación de la infraestructura de detección de incendios y dotaciones necesarias de ventilación de escaleras y vestíbulos).

Las escaleras y pasillos existentes, no se han modifi-

of the building through the improvement of the envelopes of the building, as well as the renovation in the energetic production.

Since the present project is a rehabilitation of an existing building, the general application criterion for existing building have been adopted, generating compliance with the CTE in the elements where it acts (not so in the elements where it does not act and which only require maintenance work).

In particular, to comply with the CTE DB-SI, various improvements have been proposed to comply with the code of the elements modified by the reform (new evacuation exits, generation of vestibulated spaces in the basement and ground floor, renovation of the detection infrastructure of fires and necessary equipment for ventilation of staircases and lobbies).

The existing staircases and corridors have not been modified, acting only with maintenance works for their renovation. A modification of the air conditioning installations has been proposed, to systems of greater sustainability than the existing one (radiant

cado, actuando únicamente con trabajos de mantenimiento para su renovación.

Se ha propuesto una modificación de las instalaciones de climatización, a sistemas de mayor sostenibilidad al existente (hilo eléctrico radiante por techo).

La actuación tanto en los cerramientos como en las instalaciones de climatización prevé una mejora significativa energética global del inmueble.

También se han acometido trabajos de renovación de las zonas ajardinadas comunes y exteriores, manteniendo en su totalidad el arbolado existente, y renovando la dotación deportiva.

Se han realizado además diversas mejoras en la accesibilidad actual al inmueble a través de la eliminación de las barreras arquitectónicas del edificio existente.

4. Adaptación al cumplimiento del CTE

Los requisitos básicos de los edificios relativos a la funcionalidad vienen recogidos en el artículo 3.1 de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) donde se establece que «con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad y la protección del medio ambiente, los edificios deberán proyectarse, construirse, mantenerse y conservarse de tal forma que se satisfagan los requisitos básicos siguientes:

Con el fin de dar solución a las diversas exigencias de los requisitos básicos del CTE, se exponen a continuación los distintos requisitos junto a las acciones tomadas en cada uno de ellos por la dirección facultativa del proyecto.

4.1. Requisitos básicos relativos a la funcionalidad

Para garantizar el cumplimiento de los requerimientos relativos al requisito de funcionalidad se alcanzan las siguientes acciones:

1.Utilización: la disposición y las dimensiones de los espacios y la dotación de las instalaciones han de facilitar la adecuada realización de las funciones previstas en el edificio.

Acción: No se han modificado sustancialmente los elementos de comunicación vertical y horizontal existentes, salvo en la incorporación de vestíbulos de independencia de las escaleras protegidas y dos nuevas salidas de evacuación de las escaleras centrales para cumplimiento de CTE.

2.Accesibilidad: se ha de permitir a las personas con movilidad y comunicación reducidas el acceso y la circulación por el edificio en los términos previstos

electric wire per roof). The action both in the enclosures and the air-conditioning installations foresees a significant overall energy improvement of the building. Renovation work has also been undertaken on the common and exterior landscaped areas, maintaining all the existing trees, and renewing the sports facilities. Several improvements have also been made in the current accessibility to the building through the removal of the architectural barriers from the existing building.

4. Adaptation to compliance with the CTE

The basic requirements for buildings related to functionality are included in article 3.1 of the Building Regulation Act (LOE), which states that "in order to guarantee the safety of people, the welfare of society and the environmental protection, buildings must be designed, constructed, maintained and preserved in such as to meet the following basic requirements: in order to provide a solution to the different requirements of the basic requirements of the CTE, these are set out below together with the actions taken in each of them by the project's facultative management.

4.1. Basic requirements related to functionality

To ensure compliance with the requirements related to the functionality requirement, the following actions are achieved:

1. Use: the layout and dimensions of the spaces and the provision of the facilities have to facilitate the proper performance of the functions provided in the building.

Action: Substantial vertical and horizontal communication elements have not been substantially modified, except for the incorporation of independent vestibules for protected staircases and two new evacuation exits from the central staircases for compliance with CTE.

2.Accessibility: people with reduced mobility and communication must be allowed access and movement around the building under the terms set out in their specific regulations.

Action: Existing elements of architectural barriers on the ground floor are rectified, resulting in both the access to the building and its common areas, in a way that is suitable for accessibility for people with reduced mobility, being, in all that refers to accessibility, the provisions of Decree 19/2000 approving the Accessibility Regulations in relation to urban and architectural barriers in development of Law 5/1994.

3. Access to telecommunication, audiovisual and information services in accordance with their speci-

en su normativa específica.

Acción: Se subsanan elementos existentes de barreras arquitectónicas en planta baja, resultando; tanto el acceso del edificio, como las zonas comunes de éste, de modo adecuado a la accesibilidad de las personas con movilidad reducida, estando, en todo lo que se refiere a accesibilidad, a lo dispuesto por el Decreto 19/2000 por el que se aprueba el Reglamento de Accesibilidad en relación con las barreras urbanísticas y arquitectónicas en desarrollo de la Ley 5/1994.

3. Acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información de acuerdo con lo establecido en su normativa específica.

Acción: Se adecúan las instalaciones existentes de telecomunicación a la normativa vigente.

4. Facilitación para el acceso de los servicios postales, mediante la dotación de las instalaciones apropiadas para la entrega de los envíos postales, según lo dispuesto en su normativa específica.

Acción: Se renueva la dotación en planta baja de los casilleros postales y se dota de varias Smart-Box de recogida de paquetería para usuarios de la urbanización.

4.2. Requisitos básicos relativos a la seguridad

Con el fin de garantizar el cumplimiento de las exigencias relativas al requisito de seguridad se toman las siguientes decisiones sobre diversos aspectos:

1. Seguridad estructural: Es necesario que no se produzcan en el edificio, o partes de este, daños que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales, y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad del edificio.

Acción: No se modifican los elementos estructurales principales. Solo se actúa en refuerzos a la estructura en las nuevas bancadas de instalaciones en cubierta, y los correspondientes a variación de pendientes de parte de las cubiertas (630m²) y los nuevos forjados que restituyen los demolidos del cuerpo de restaurante (360m²).

2. Seguridad en caso de incendio: Se ha de asegurar que los ocupantes puedan desalojar el edificio en condiciones seguras, se pueda limitar la extensión del incendio dentro del propio edificio y de los colindantes y se permita la actuación de los equipos de extinción y rescate.

Acción: Se actúa en una mejora de las instalaciones de detección existentes de incendios, así como en

fic regulations.

Action: The existing telecommunication installations are adapted to current regulations.

4. Facilitation of access to postal services, by providing the appropriate facilities for the delivery of postal items, according to the provisions of its specific regulations.

Action: Renovation of the ground floor post office boxes and provision of several Smart-Boxes for the collection of parcels for users of the urbanization.

4.2. Basic safety requirements

In order to ensure compliance with the requirements related to the security requirement, the following decisions are taken on various aspects:

1. Structural safety: It is necessary that there be no damage to the building, or parts of it, that originate or affect the foundation, supports, beams, slabs, load-bearing walls or other structural elements, and that directly compromises the mechanical strength and stability of the building.

Action: The main structural elements are not modified. Only the structure is reinforced in the new benches of installations on the roof, and those corresponding to variation of slopes on part of the roofs (630m²) and the new slabs that restore the demolished body of the restaurant (360m²).

2. Security in case of fire: It must be ensured that the occupants can evacuate the building in safe conditions, the extent of the fire within the building itself and the surrounding buildings can be limited, and the action of the extinguishing and rescue equipment is allowed.

Action: Action is taken to improve existing fire detection facilities, as well as to adapt the requirements of the DB-SI.

3. Safety of use: It is mandatory to certify that the normal use of the building does not suppose an accident risk for people.

Action: The configuration of the spaces, the fixed and mobile elements that are installed in the building, have been designed in such a way that they can be used for the intended purposes within the limitations of use of the building without the risk of accidents for the users of this.

4.3. Basic requirements related to habitability

In order to ensure the achievement of the requirements related to the habitability requirement, the following decisions are reached in different areas:

una adaptación de los requerimientos del DB-SI.

3. Seguridad de utilización: Es obligatorio certificar que el uso normal del edificio no suponga riesgo de accidente para las personas.

Acción: La configuración de los espacios, los elementos fijos y móviles que se instalen en el edificio, se han proyectado de tal manera que puedan ser usados para los fines previstos dentro de las limitaciones de uso del edificio sin que suponga riesgo de accidentes para los usuarios de este.

4.3. Requisitos básicos relativos a la habitabilidad

Con el objetivo de asegurar la consecución de las exigencias relativas al requisito de habitabilidad se alcanzan las siguientes decisiones sobre diferentes ámbitos:

1. Higiene, salud y protección del medio ambiente. Se han de alcanzar condiciones aceptables de salubridad y estanqueidad en el ambiente interior del edificio y que éste no deteriore el medio ambiente en su entorno inmediato, garantizando una adecuada gestión de toda clase de residuos.

Acción: No se modifican las condiciones existentes. En las actuaciones puntuales de cambios de distribución se atiende al cumplimiento de los requerimientos de habitabilidad y salubridad. El conjunto de las modificaciones en envolventes de la edificación proyectadas dispone de medios que impiden la presencia de agua o humedad inadecuada procedente de precipitaciones atmosféricas, del terreno o de condensaciones, y dispone de medios para impedir su penetración o, en su caso, permiten su evacuación sin producción de daños.

Al conjunto edificado de apartamentos y al aparcamiento en sótano se les dota de una renovación forzada para que sus recintos se puedan ventilar adecuadamente, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante su uso normal, de forma que se aporte un caudal suficiente de aire exterior y se garantice la extracción y expulsión del aire viciado por los contaminantes.

2. Protección contra el ruido: El ruido percibido no ha de poner en peligro la salud de las personas y les permita realizar satisfactoriamente sus actividades.

Acción: Se procura una mejora acústica en los elementos donde se interviene (fachadas y cubiertas), y en los elementos separadores verticales entre viviendas.

3. Ahorro de energía y aislamiento térmico. Se ha de conseguir un uso racional de la energía necesaria para la adecuada utilización del edificio.

1. Hygiene, health and protection of the environment. Acceptable conditions of health and watertightness must be achieved in the interior of the building and that it does not deteriorate the environment in its immediate surroundings, guaranteeing an adequate management of all kinds of waste.

Action: Existing conditions remain unchanged. In the specific actions of distribution changes, compliance with the habitability and health requirements is met. The set of modifications in the building envelopes projected has means that prevent the presence of inadequate water or humidity from atmospheric precipitation, from the ground or from condensation, and has means to prevent their penetration or, where appropriate, to allow them to be evacuated without causing damage. The built complex of apartments and basement car park are provided with a forced renovation so that their enclosures can be adequately ventilated, eliminating the pollutants that are produced in a habitual way during their normal use, so that a sufficient flow of external air is provided and the extration and expulsión of the air vitiated by the pollutants is guaranteed.

2. Protection against noise: The perceived noise must not endanger people's health and enable them to carry out their activities satisfactorily.

Action: Acoustic improvement is sought in the elements where it intervenes (facades and roofs), and in the vertical separating elements between dwellings.

3. Energy saving and thermal insulation. A rational use of the energy necessary for the proper use of the building must be achieved.

Action: The projected building has a suitable envelope to limit the energy demand necessary to achieve thermal comfort depending on the climate of the place, the intended use and the summer and winter regime. The solutions of isolation and inertia, air permeability and exposure to solar radiation adopted have solved the pre-existing pathologies of superficial and interstitial condensation humidities. Special consideration has been given to an improvement in the treatment of thermal bridges through a ventilated facade solution with continuous insulation, to limit heat losses or gains and avoid hygrothermal problems in them.

The projected building has lighting facilities adapted to the needs of its users and at the same time energy efficient, with a control system that allows the lighting to be adjusted to the actual occupation of the area, as well as a regulation system that optimizes the use of natural light in areas that meet certain conditions. In particular, the current incandescent lighting has been replaced by LED solutions.

The air-conditioning system is replaced by radiant wire in the current roof, with a much more sustaina-

Acción: El edificio proyectado dispone de una envolvente adecuada a la limitación de la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima del lugar, del uso previsto y del régimen de verano y de invierno. Las soluciones de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar adoptadas, han solucionado las patologías preexistentes de humedades de condensación superficiales e intersticiales. Se ha tenido en cuenta especialmente una mejora en el tratamiento de los puentes térmicos a través de una solución de fachada ventilada con aislamiento continuo, para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

La edificación proyectada dispone de instalaciones de iluminación adecuadas a las necesidades de sus usuarios y a la vez eficaces energéticamente disponiendo de un sistema de control que permita ajustar el encendido a la ocupación real de la zona, así como de un sistema de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, en las zonas que reúnan unas determinadas condiciones. En particular se opta por la sustitución del actual alumbrado de incandescencia por soluciones tipo led.

Se procede a la sustitución de climatización por hilo radiante en techo actual, por un sistema mucho más sostenible agua-aire de producción centralizada.

5. Descripción de las estrategias constructivas en envolventes

A continuación, se describen de manera general los parámetros que determinan las previsiones técnicas a considerar en el proyecto respecto al sistema de envolventes (fachadas y cubiertas).

5.1. Fachadas

Descripción del sistema: Las fachadas del estado actual del edificio (Fig. 2) se resuelven con un cerramiento compuesto por los siguientes elementos (de fuera a dentro): Un acabado de 2,5cm de un mortero de árido lavado (A). 1/2 pié de ladrillo hueco doble (B). 1 cm de enfoscado de cemento (C). 2cm de poliestireno expandido (D). 7cm de cámara de aire no ventilada con un aislamiento de lana de roca (E). Trasdosado de tabique de ladrillo hueco sencillo (F). 1,5cm de enlucido de yeso (G).

Del análisis de imágenes termográficas del edificio existente (Fig. 3) se detectan las siguientes deficiencias, principalmente debidas a la no resolución de los diversos puentes térmicos.

- Inexistencia de aislamiento térmico en: la unión de estructura vertical (pilares) y los cerramientos, la unión de estructura horizontal (canto de forjado) y los cerramientos, la unión de soleras inferiores (bajos ajardinados) y los cerramientos, bajo espacios vivideros sobre soportales abiertos,

ble water-air system of centralized production.

5. Description of constructive strategies in envelopes.

The following is a general description of the parameters that determine the technical forecasts to be considered in the project with the respect to the system of envelopes (facades and roofs).

5.1. Facades

Description of the system: The facades of the current state of the building (Fig. 2) are resolved with an enclosure composed of the following elements (from outside to inside): A 2.5cm finish of a washed aggregate mortar (A). 1/2 double hollow brick foot (B). 1 cm of cement plastering (C). 2cm of expanded polystyrene (D). 7cm non-ventilated air chamber with rock wool insulation (E). Single hollow brick wall panning (F). 1.5cm of gypsum plaster (G).

From the analysis of thermographic images of the existing building (Fig. 3), the following deficiencies are detected, mainly due to the non-resolution of the various thermal bridges.

- Absence of thermal insulation in: the union of vertical structure (pillars) and the enclosures, the union of horizontal structure (slab edge) and the enclosures, the union of lower screeds (landscaped basements) and the enclosures, under living spaces on open supports, under living spaces on basement parking and in pasable terraces on living spaces.
- Thermal bridges in outer door jambs and lintels.

Proposed solution: A new ventilated façade solution is proposed over the existing enclosure, which allows to have a continuous insulation that solves the thermal bridges described (Fig. 4). A solution of large-format polished porcelain extruded ceramic plates is adopted, in white color for the emerging façade and anthracite gray for the sunken planes and the interior of the terrace. It is also proposed to renovate the exterior carpentries, implementing an updated solution through aluminum carpentries with thermal bridge breakage, in anthracite gray tones and thermal and acoustic double glazing. The choice is made for a system of capialzado of compact blinds in pvc with thermal aluminum slats. It is proposed to replace the terraces with a solution of 5+5 laminated safety glass railing with colorless butyral and polished edges. It is proposed to replace the false terrace ceilings with a metal ceiling solution of perforated and lacquered anthracite gray steel trays.

As can be seen in the following image (Fig.5), the propose enclosure (from outside to inside) consists of: bicolour (H) polished porcelain extruded plate with fixation system (I) made up of 60x120x50x3mm

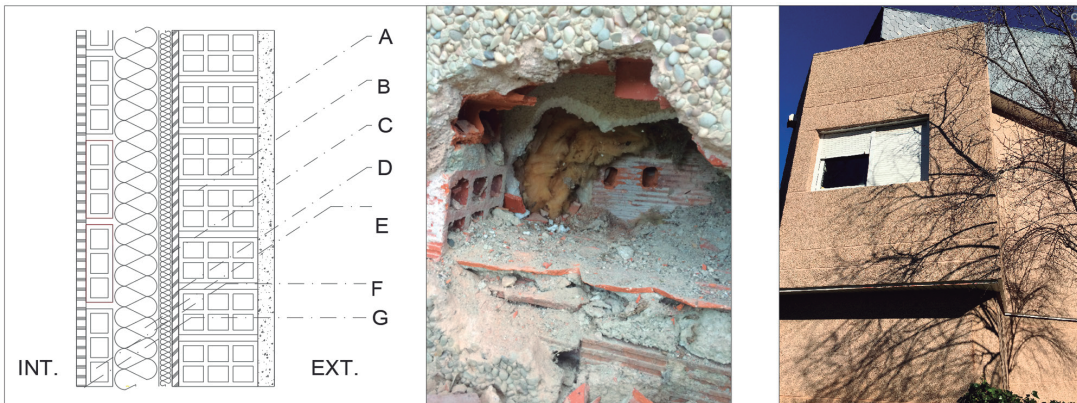


Figura 2. Sección constructiva de la fachada existente. Imágenes de las catas realizadas en marzo de 2016 mediante las que se deduce la solución constructiva existente anteriormente descrita. Aspecto exterior de la fachada existente.



Figura 3. Imágenes termográficas realizadas en marzo de 2016 donde se evidencian las patologías anteriormente descritas.

bajo espacios vidrieros sobre sótano de aparcamiento y en terrazas transitables sobre espacios vidrieros.

- Puentes térmicos en jambas y dinteles de huecos exteriores.

Solución propuesta: Se propone una solución de nueva fachada ventilada sobre el cerramiento existente, que permita disponer de un aislamiento con-

supporting aluminium brackets and 60x60x50x3mm retention brackets, and its vertical aluminium profiles of 100x60x2mm and standard stainless staple for fastening the pieces, placed in a horizontal line with plate dimensions 80x40.5cm. Insulation rigid panel rock wool double density rango Ventirock duo 1200x600x8cm with fastening to the wall by plastic fixing polypropylene installed by hammer blow (I). The resto f the system corresponds to the initial situation.

tinuo que solucione los puentes térmicos descritos (Fig. 4). Se adopta una solución de placas cerámicas extrusionadas porcelánicas pulidas de gran formato, en color blanco para los cuerpos emergentes de fachada y gris antracita para los planos rehundidos e interior de terraza. También se propone una renovación de las carpinterías exteriores, implantando una solución actualizada mediante carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico, en tonos gris antracita y acristalamientos dobles térmicos y acústicos. Se opta por un sistema de capialzado de persianas compacto en pvc con lamas de aluminio térmicas. Se propone una sustitución de los petos de terrazas, por una solución de barandilla de vidrio laminado de seguridad 5+5 con butiral incoloro y cantos pulidos. Se propone la sustitución de los falsos techos de terraza por una solución de techo metálico de bandejas de acero perforadas y lacadas en gris antracita.

Como se puede apreciar en la siguiente imagen (Fig.5) el cerramiento propuesto (de fuera a dentro) consiste en: placa extrusionada porcelánica pulida bicolor (H) y con sistema de fijación (I) compuesto por ménsulas de aluminio de sustentación de

5.2. Roofs

Description of the system: The existing roof consists of the following components (Fig.6): Unidirectional structural slabs of ceramic vaults, plastered to the interior (F). Regulation mortar (E). Ceramic shavings for the formation of ventilated chambers (D). 2cm of expanded polystyrene (C). 5cm of mortar lightened with arlite, armed with 0.5cm electro-welded mesh (B). Coverage in black slate tile (A).

The existing roof solution has a very low insulation thickness for the desirable habitability requirements, which result in real indoor temperature conditions, very far from comfort conditions, and which requires excessive energy inputs in air conditioning. The impermeability of the system works properly thanks to the high slopes (close to 45%) and only occasional problems have been detected, due to the obstruction of the hidden gutters, due to the accumulation of leaves.

Proposed solution: It is proposed (Fig.7) to implement a new 8cm insulation layer in rigid extruded polystyrene closed pore plates (J), mechanically fixed (I) to

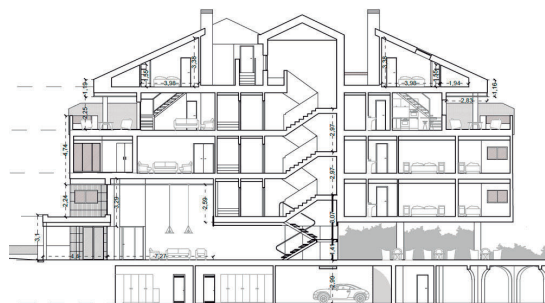


Figura 4. Sección constructiva general del edificio. Imagen anterior de la fachada y su encuentro con la barandilla. Imagen final de la rehabilitación de la fachada.

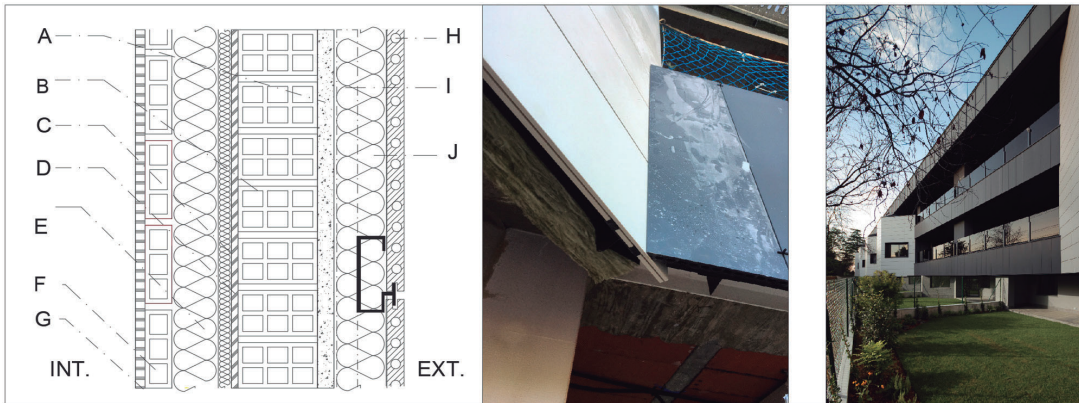


Figura 5. Sección constructiva del cerramiento propuesto. Detalle constructivo de la solución adoptada en fachada. Imagen general del acabado de fachada exterior.

60x120x50x3 mm y de retención de 60x60x50x3 mm, y perfilera de aluminio vertical de 100x60x2 mm y grapa inoxidable standard para la sujeción de las piezas, colocadas a línea horizontal con dimensiones de placa 80x40,5 cm. Aislamiento panel rígido lana roca doble densidad rockwool gama Ventirock duo 1200x600x8 cm con sujeción al paramento mediante fijación plástica de polipropileno instalada por golpeo con martillo (I). El resto del sistema corresponde a la situación inicial.

5.2. Cubiertas

Descripción del sistema: La cubierta existente está formada por los siguientes componentes (Fig.6): Forjado estructural unidireccional de bovedillas cerámicas, enlucido al interior (F). Mortero de regulación (E). Rasillas cerámicas de formación de cámaras ventiladas (D). 2cm de poliestireno expandido (C). 5cm de mortero aligerado con arlita, armado con malla electro-soldada de 0,5cm (B). Cobertura en teja de pizarra negra (A).

La solución de cubierta existente presenta un espesor de aislamiento muy escaso para los requerimientos de habitabilidad deseables, que derivan en unas condiciones reales de temperatura interior, muy alejada a las condiciones de confort, y que requiere excesivos aportes energéticos en climatización. La impermeabilidad del sistema funciona adecuadamente gracias a las elevadas pendientes (cercasas al 45%) y solo se han detectado problemas puntuales, por atoramiento de los canalones ocultos, por acumulación de hojas.

Solución propuesta: Se propone (Fig. 7) la implementación de una nueva capa de aislamiento de 8cm en placas rígidas de poro cerrado de poliestireno extruido (I), fijado mecánicamente (I) a la solera flotante de mortero aligerado armado (H), y revestido con un acabado en zinc (G) en junta alzada sobre rastreles y entarimado de madera (generando una nueva cámara ventilada). Esta solución mejora notablemente las prestaciones de ahorro energético de las envolventes, además de generar una mejora estética acorde con la renovación de fachadas.

the floating screed of lightweight reinforced mortar (H), and coated with a zinc finish (G) in raised joint on strips and wooden decking (generating a new ventilated chamber). This solution significantly improves the energy-saving performance of the enclosures, in addition to generating an aesthetic improvement in line with the renovation of facades.

6. Conclusions y discussion

The aim of this article is to give a global visión of all the constructive aspects that have been relevant when rehabilitating the "LagosPark" building in an integral way.

The refurbishment of the building has made it a relevant project in the área, responding not only to the regulatory criteria for improving energy efficiency and sustainability in housing, but also responding to architectural strategies that are not usually taken into consideration in projects of similar characteristics. A large-format extruded porcelain plate Ventilated Façade System has been used on all exposed façades where the water wets the vertical walls, while in all sunken planes where there is no runoff (terrace bottoms, eaves underneath...) an ETICS/SATE System has been chosen to avoid differential washing on the façade. This proposal guarantees a better performance in relation to the maintenance of the façades.

Thanks to the refurbishment carried out and taking into account the energy characteristics of the building, the thermal enclosure, its installations, operating conditions and occupancy... and energy rating A has been obtained for the building.

In this way, and given that this is an apartment building for rent, tenants have obtained energy savings for more than 60% due to the absence of thermal losses.

Both housing and common áreas have been favoured by the use of ventilated facade and ETICS/SATE construction systems, as well as the constructive solution in roofs that allows the high áreas of the build-

Figura 6.
Sección constructiva de la cubierta existente. Imagen de la cubierta de pizarra negra antes de la rehabilitación.

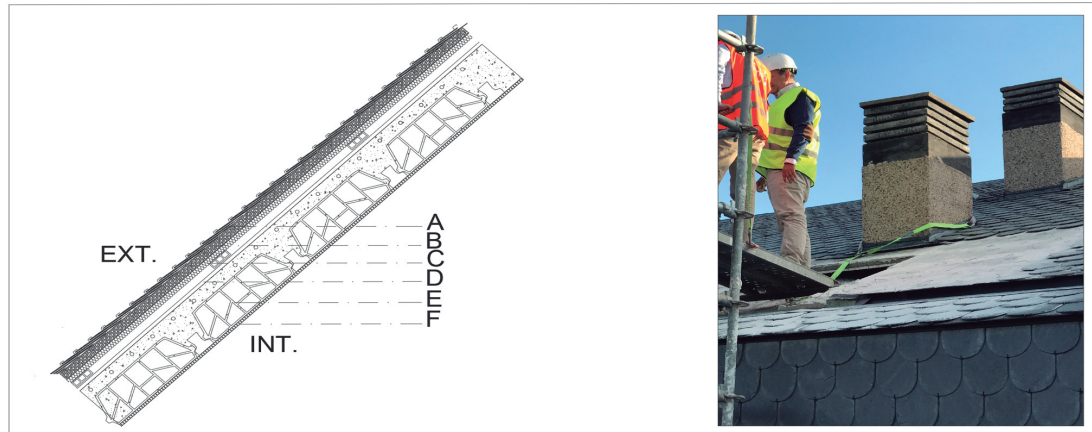


Figura 7.
Sección constructiva de la cubierta propuesta. Imagen de la cubierta de zinc después de la rehabilitación.



6. Conclusiones y discusión

A través de este artículo se ha pretendido dar una visión global de todos aquellos aspectos constructivos que han sido relevantes a la hora de rehabilitar el edificio "LagosPark" de manera integral.

La rehabilitación del edificio ha conseguido que sea una obra relevante del lugar dando respuesta, no solo a los criterios normativos de mejora de la eficiencia energética y sostenibilidad en viviendas, sino también respondiendo a estrategias arquitectónicas que habitualmente no son tenidas en consideración en proyectos de similares características. Se ha empleado un Sistema de Fachada Ventilada de placa porcelánica extrusionada de gran formato en todas aquellas fachadas expuestas en donde el agua moja los paramentos verticales, mientras que en todos los planos hundidos donde no se produce escorrentía (fondos de terrazas, bajos de aleros...) se ha optado por un Sistema Sate evitando así los lavados diferenciales en fachada. Esta propuesta garantiza un mejor comportamiento en relación al mantenimiento de las fachadas.

Gracias a la rehabilitación realizada y teniendo en cuenta las características energéticas del edificio, la envolvente térmica, sus instalaciones, las condiciones de funcionamiento y ocupación... se ha con-

ding not only to obtain a new spatial configuration by gaining height in the ceilings, but also to favor substantial thermal insulation in the upper parts of the building.

All the houses have had their old carpentry systems renovated by aluminium ones with thermal bridge break and low emissivity double glazing which produces invaluable acoustic and thermal benefits.

In addition, each apartment has been equipped with an air-conditioning system by means of a centralised heat pump with individual heat recuperators, which benefits the sustainability of the complex.

seguido obtener una calificación energética A del inmueble.

De esta forma y, dado que se trata de una edificación de apartamentos en alquiler, los inquilinos han obtenido un ahorro en gasto energético superior al 60% debido a la inexistencia de pérdidas térmicas.

Tanto las viviendas como las zonas comunes se han visto favorecidas por el empleo de los sistemas constructivos de fachada ventilada y ETICS/SATE así como de la solución constructiva en cubiertas que permite a las zonas altas del edificio, no sólo obtener una nueva configuración espacial ganando altura en los techos, sino favorecer un aislamiento térmico sustancial en las partes altas del edificio. Todas las viviendas han visto renovadas sus antiguos sistemas de carpinterías por unos de aluminio con rotura de puente térmico y vidrios dobles de baja emisividad lo que produce inestimables beneficios acústicos y térmicos.

Además, se ha dotado a cada apartamento de un sistema de climatización a través de bomba de calor centralizada con recuperadores de calor individuales lo que beneficia a la sostenibilidad del conjunto.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Cano-Marín, R.D.; Jaramillo-Morilla, A.; Bernal-Serrano F.J.; Moreno-Rangel, D. Un estudio de caso: Rehabilitación singular de edificios de viviendas en la barriada del Parque Alcosa, análisis de daños constructivos comunes y propuesta de intervención. *Informes de la Construcción*, 66, (534): e017; doi:<http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.112>.
- [2] Un estudio de caso: la rehabilitación de los edificios de viviendas del barrio de La Mina en Sant Adrià del Besòs (Barcelona). Análisis funcional y de las condiciones de seguridad, habitabilidad y mantenimiento. C. Díaz; C. Cornadó; I. Llorens; F. Pardo; F. Hormías. *Informes de la Construcción*. Vol. 64, 525 19-34 Enero-Marzo 2012. ISSN: 0020-0883
- [3] Alonso Ruiz-Rivas, C. (2015). Rehabilitación energética de fachadas: Propuesta metodológica para la evaluación de soluciones innovadoras, basándose en el diagnóstico de viviendas sociales construidas entre 1940 y 1980. Tesis Doctoral.
- [4] Peinado Hernández, F., Rodero Antunez, C., Arines Rodriguez, S., Perez Abendaño, M. (2012). Comportamiento acústico de sistemas ETICS de rehabilitación por el exterior de la fachada con lanas minerales (Proyecto BALL). *Revista de Acústica*. Vol 43. Nº 3 y 4. Pp: 15-21.
- [5] Carbonel Villanueva, J.F. (2016). La rehabilitación como oportunidad de evolución. Estudio y análisis de las estrategias presentadas en el Concurso de la Rehabilitación de la fachada ligera del Colegio de Arquitectos de Cataluña. Trabajo Fin de Máster.
- [6] Davis, M., García, S., Cristerna, J. Metodología para la evaluación energética de la vivienda en Mexico. *Proceedings of the VII Elagec*, 16-17 Noviembre 2016. Bogotá, Colombia. pp: 9-15.
- [7] Martín-Consuegra, F., Oteiza, I., Alonso, C., Cuervo-Vilches, T., Frutos, B. (2014). Análisis y propuesta de mejoras para la eficiencia energética del edificio principal del Instituto c.c. Eduardo Torroja-CSIC. *Informes de la Construcción*, 66(536): e043, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.125>.
- [8] Villar-Burke, R., Jiménez-González, D, Larrumbide, E., Tenorio, J.A. (2014). Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la Construcción*, 66(535): e030, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>.

Gestión energética colaborativa en edificios: aplicación de técnicas de participación del usuario en un edificio singular de Madrid

Collaborative energy management in buildings: application of user-participation techniques on a singular building in Madrid

Teresa Cuervo-Vilches¹, Miguel Ángel Navas-Martín²

ABSTRACT

Actualmente, las técnicas y métodos existentes para diagnosticar y rehabilitar energéticamente edificios existentes aún no consideran al usuario un interlocutor activo de sus propias necesidades con respecto al edificio. Y es que, desde la perspectiva del técnico, aquel puede resultar un agente incómodo e imprevisible. Sin embargo, el usuario del edificio puede ofrecer interesantes claves sobre deficiencias en el día a día de su relación con el espacio construido, de interés para rehabilitadores y gestores energéticos, a la vez que puede comprometerse a largo plazo con la gestión eficiente del mismo. Se propone legitimar al usuario de edificios existentes, para que informe sobre sus necesidades reales de confort interior, y colabore proactiva, voluntaria y motivadamente, convirtiéndose en un actor clave en la gestión colaborativa del edificio, a lo largo de su vida útil. Para ello, se toman técnicas cualitativas provenientes de las ciencias sociales y de la salud, pertenecientes a la Investigación-Acción participativa (IAP), así como otras técnicas que utilizan la imagen como vehículo para facilitar el análisis, la conciencia crítica y el debate entre usuarios en relación a un determinado tema. Esto fomenta el diagnóstico de las carencias detectadas por los usuarios en el edificio, a la vez que les ayuda a comprender la importancia que adquieren como participantes activos, proponen soluciones, y adquieren mayor compromiso con el edificio y su actividad. Este método, denominado Photovoice, es de especial interés en la aplicación de medidas rehabilitadoras para la gestión eficiente de la energía en edificios terciarios existentes, especialmente en aquellos edificios singulares, puesto que puede facilitar el trabajo de los técnicos y profesionales, dando información de primera mano sobre la experiencia diaria con el edificio en sus diferentes espacios. La experiencia llevada a cabo en este proyecto se ubica en un edificio terciario, destinado a despachos y laboratorios, situado en Madrid, perteneciente a la administración pública. Entre enero y marzo de 2017, dieciséis usuarios tomaron fotos de deficiencias encontradas en el edificio en términos de confort, y luego se reunieron hasta cinco veces para debatir los problemas detectados, reflexionar, y concretar propuestas de mejora. Cabe destacar del método varias cuestiones: lo colaborativo que resulta para los participantes; el fin informativo y divulgador ante los decisores-gestores del edificio; la conveniencia de las soluciones que presentan los usuarios, que pueden resultar más ajustadas, tanto en tiempo como en presupuesto; y el papel del técnico-facilitador, puesto que es él (o su grupo interdisciplinar), quien debe traducir lo expresado por el usuario al lenguaje técnico, a fin de que toda esa información sea provechosa ante una posible intervención en el edificio. En definitiva, se trata de utilizar la experiencia del usuario para establecer un diálogo entre gestores, usuarios y técnicos, de manera que la gestión colaborativa sea una realidad, resulte lo más eficiente posible y se perpetúe en el tiempo, evitando costosos gastos de mantenimiento y/o un mal uso por parte de un usuario desconocedor, desinformado, o incapacitado para participar en la gestión de su propio confort en el lugar de trabajo.

Key Words: Usuario, gestión energética colaborativa, Photovoice, participación, edificio singular

(1) IETcc-CSIC, c/Serrano Galvache 4, 28033, Madrid, +34 913020440, ext. 870417, teresacuervo@ietcc.csic.es (2) ISCIll, Avda. Monforte de Lemos 5, 28029, Madrid

1. Introducción

Hoy día, una de las cuestiones más preocupantes a nivel global es sin duda la gestión de los recursos naturales, entre los cuales se encuentran las fuentes de energía para la actividad humana, en sectores como la industria, el transporte y la edificación. El consumo excesivo de energías provenientes de recursos fósiles ha repercutido en un gran impacto, más allá de su inminente agotamiento. El impacto ambiental a través de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y la modificación del medio natural han originando a su vez fenómenos como el Cambio Climático. Económicamente la consecuente subida de precios de estos recursos ha generado efectos socioeconómicos como la pobreza energética que padece una parte significativa de la población, especialmente en las áreas residenciales más vulnerables de las ciudades.

En el sector de la edificación y la construcción, este fenómeno se ha intensificado debido a la crisis inmobiliaria de la última década. Esta crisis ha afectado a todos los agentes intervinientes en el proceso edificatorio, pero de una manera particular al arquitecto, cuya labor actual se debate en busca de nuevas oportunidades, entre las cuales destaca la recuperación y actualización del parque edificatorio ya existente, en múltiples ocasiones infrutilizado. Estos edificios fueron proyectados y ejecutados en la mayoría de los casos bajo normativa escasa o inexistente en cuestiones de habitabilidad, seguridad, accesibilidad y confort interior hoy imperativas para el bienestar del usuario.

En cuanto al confort interior de los edificios, y en particular, a sus condiciones térmicas, se establece un antes y un después normativo, marcado por dos hitos concretos: uno, la norma básica de edificación sobre Condiciones Térmicas (1979), y el más importante, de la mano del Código Técnico de la Edificación (2006), a través del Documento Básico sobre Ahorro de Energía (CTE-DB HE), revisado en sucesivas ocasiones.

Desde Europa no sólo se ha contribuido con la emisión de Directivas, sino también con estrategias y planes para incentivar los objetivos establecidos en plataformas como el Horizonte 2020. En este tipo de actuaciones se promueven, entre otros, el ahorro y eficiencia energéticos en los edificios, donde aquellos existentes, y en particular los de titularidad pública deben asumir una función ejemplarizante. Estos espacios no residenciales resultan grandes consumidores de energía, destacando los derivados de iluminación, climatización y de equipos.

Los profesionales, técnicos y la comunidad científica han aunado esfuerzos por desarrollar y aplicar metodologías para predecir el comportamiento energético de un edificio desde la fase de diseño, y en el caso de edificios existentes, a fin de rehabilitar con

1. Introduction

Nowadays, one of the most worrying issues at a global level is undoubtedly the management of natural resources, among which are the energy sources for human activity, in industry, transport and building. The excessive consumption of energy from fossil resources has had a great impact, beyond its imminent exhaustion. The environmental impact through emissions of Greenhouse Gases (GHG) and the modification of the natural environment have caused phenomena such as Climate Change. Economically, the consequent rise in the prices of these resources has generated socioeconomic effects such as the energy poverty suffered by a significant part of the population, especially in the most vulnerable residential areas of the cities. In the building and construction sector, this phenomenon has been intensified due to the real-estate crisis of the last decade. This crisis has affected all the agents involved in the building process, but in a particular way the architects, whose current work is in search of new opportunities, among which the recovery and updating of the existing building park stands out, on multiple occasions underutilized. These buildings were designed and executed in most cases under scarce or nonexistent regulations in terms of habitability, safety, accessibility and internal comfort, which are imperative for the user well-being. The regulation in terms of internal comfort in buildings, and in particular, to their thermal conditions established a drastic change, marked by two concrete milestones: one, the basic norm of building on Thermal Conditions (1979), and the most important, within the Technical Building Code (2006), through the Basic Document on Energy Saving (CTE-DB HE), reviewed on several occasions. From Europe not only has contributed with the issuance of Directives, but also with strategies and plans to incentivize the objectives established in platforms such as Horizon 2020. In this type of actions are promoted, among others, energy saving and efficiency in buildings, where existing ones, and in particular those of public ownership, must assume an exemplary function. These non-residential spaces are large consumers of energy, highlighting those of lighting, air conditioning and equipment.

Professionals, technicians and the scientific community have joined efforts to develop and apply methodologies to predict the energy performance of a building from the design phase, and in the case of existing buildings, in order to refurbish with criteria of saving and efficiency in the use stage. However, there is still a distorting "element" in the effectiveness of these strategies, which is already mentioned in the specialized literature, and which is directly related to the user and their daily and real relationship with the building.

Traditionally the user has developed their activity in the building in a complex and dynamic way, as well as their energy exchange. In order to establish

criterios de ahorro y eficiencia en la fase de uso. Sin embargo, existe aún un “elemento” distorsionante en la efectividad de estas estrategias, del que ya se habla en la literatura especializada, y que está directamente relacionado con el usuario y su relación diaria y real con el edificio.

Tradicionalmente el usuario ha desarrollado su actividad en el edificio relacionándose con él de manera compleja y dinámica, como así es su intercambio energético. Para poder establecer criterios de diseño y estrategias de rehabilitación y actualización de estos edificios, los proyectistas y técnicos han modelado mediante algoritmos determinados patrones de comportamiento humano, para poder predecirlo y ver su repercusión en el consumo energético, a fin de establecer criterios de ahorro y eficiencia. En recientes estudios, se ha recurrido a otros métodos, basados en la probabilística o técnicas más novedosas en busca de mayor precisión en las aproximaciones, pero a menudo tienen determinados sesgos, y en cualquier caso, a menudo añaden sus propias incertidumbres, como los entornos virtualizados o modelos de simulación. A esto hay que añadir equipos costosos, largos periodos de medición, estudios de campo, contratación de personal cualificado, y estudios iterativos, entre otros.

Por tanto, no hay constancia de una metodología armonizada que logre con éxito un uso eficiente de la energía y el confort ambiental real del usuario, por lo que se exploran otras disciplinas y vías de acercamiento al usuario del edificio, que actualmente es pasivo con respecto a la gestión energética del mismo, pese a que su comportamiento siga incidiendo de forma decisiva en los consumos de energía y las emisiones asociadas al edificio.

Para el caso particular de los entornos laborales, aún esta circunstancia se acentúa más, puesto que el usuario no es tan consciente del consumo (energético y económico) y emisiones asociadas a su actividad diaria. Es entonces cuando cabe preguntarse por qué, si el usuario es tan importante en la cuestión energética y ambiental, no tiene una participación activa, máxime en edificios existentes, donde se conoce quién es, qué puesto o lugar ocupa en el edificio, y es quien más sabe de confort en su espacio habitual. Lograr que su participación sea activa, reflexiva y motivada para la gestión eficiente de la energía y los recursos en estos espacios de trabajo es un reto al que había que enfrentarse.

Entre las disciplinas consultadas, la aproximación se hace a las ciencias sociales, alternativa natural y lógica hacia lo multidisciplinar, buscando respuestas sobre el usuario y su participación en cuestiones de energía, medioambiente y confort.

Dentro de las ciencias sociales, la aproximación al usuario para su participación activa, reflexión crítica y compromiso a largo plazo se efectúa a través de la

design criteria and strategies for the rehabilitation and updating of these buildings, designers and technicians have algorithmically modeled patterns of human behavior, to predict it and see its impact on energy consumption, in order to establish saving criteria and efficiency. In recent studies, other methods have been used, based on probabilistic or newer techniques to reach greater precision in approximations, but often having certain biases, and in any case, often adding their own uncertainties, such as those from virtualized environments or simulation models. Additionally, it worths to consider costly equipment, long periods of measurement, field studies, recruitment of qualified personnel, and iterative studies, among others.

Therefore, there is no record of a harmonized methodology that successfully achieves an efficient use of energy and real user comfort, so other disciplines and approaches to the building user are explored, which is currently passive with respect to its energy management, in spite of the fact that its behavior continues having a decisive effect on energy consumption and emissions associated with the building.

Among the disciplines consulted, the approach is made to the social sciences, natural and logical alternative towards the multidisciplinary, seeking answers about the user and their participation in issues of energy, environment and comfort.

Within the social sciences, the approach to the user and their active participation, critical reflection and long-term commitment is carried out through qualitative research, specifically through Participatory Action Research (IAP), which allow the approach almost “intimate” to the person, to establish a climate of confidence and non-stress, in which the building user exposes their needs and problems detected in detail, as well as the strengths and possible areas for improvement. In this way, the user is legitimized, through the enhancement of their own experience, feeling useful, empowered and motivated to contribute to the change of the current situation. The contribution of the user from their direct knowledge is necessary, since technicians or decision makers and managers of the building may have a biased and distant appreciation of the real problems.

Specifically, the adapted Photovoice method is innovative and with multiple possibilities for two important reasons: one, because it uses the symbolic power of the image, with the photographs taken by the users themselves, to illustrate the deficiencies detected; and two, the narrative that contextualizes these deficiencies, and the improvements proposed by them from their personal experiences. This method has already been applied in numerous success cases in fields such as health sciences, from which it arises, as an alternative to traditional quantitative methods.

investigación cualitativa, en concreto mediante la Investigación-Acción Participativa (IAP), las cuales permiten el acercamiento casi "íntimo" a la persona, para establecer un clima de confianza y distensión, en el que el usuario del edificio exponga sus necesidades y problemas detectados al detalle, así como las fortalezas y posibles áreas de mejora. Así se legitima al usuario, a través de la puesta en valor de su propia experiencia, sintiéndose útil, empoderado y motivado a contribuir por el cambio de la situación actual. La aportación del usuario desde su conocimiento directo es necesaria, puesto que el técnico o los decisores y gestores del edificio pueden tener una apreciación sesgada y distante de la problemática real.

Concretamente el método adaptado Photovoice resulta innovador y con múltiples posibilidades por dos razones de peso: uno, porque utiliza el poder simbólico de la imagen, con las fotografías tomadas por los propios usuarios, para ilustrar las carencias detectadas; y dos, la narrativa que contextualiza esas carencias, y las mejoras propuestas por ellos mismos desde sus vivencias personales. Este método ya se ha aplicado en numerosos casos de éxito en campos como las ciencias de la salud, de donde surge, como alternativa a los métodos cuantitativos tradicionales.

Este método se ha aplicado al campo de la arquitectura, y más concretamente en el área del confort interior y la eficiencia energética, validado en una tesis doctoral leída en 2017 (Cuerdo, 2017). Como resultado, el empoderamiento del usuario a través de este método constata la capacidad del mismo para detectar carencias, proponer soluciones y participar de forma activa, motivada y responsable en lo que hemos denominado la "gestión colaborativa" del edificio.

Para establecer la aplicación y validación del método adaptado Photovoice, se lleva a cabo un estudio en un centro de investigación de la administración pública, más concretamente el Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (en adelante el IETcc-CSIC).

2. Antecedentes

Antes de establecer qué técnicas y métodos de investigación se pueden tomar de otras disciplinas, entre ellas de las ciencias sociales, es preciso contextualizar al usuario y su relación con el edificio (Cuerdo-Vilches & Navas-Martín, 2015).

El usuario: ser social

La nueva estructura organizativa de la sociedad ha adoptado numerosas denominaciones, en función de los principales elementos que la definen, como son "sociedad-red", sociedad post-industrial, sociedad de la información o sociedad del conocimiento

This method has been applied to the field of architecture, and more specifically in the area of internal comfort and energy efficiency, validated in a doctoral thesis read in 2017 (Cuerdo, 2017). As a result, the empowerment of the user through this method confirms the capacity of the same to detect shortcomings, propose solutions and participate actively, motivated and responsible in what we have called the "collaborative management" of the building.

To establish the application and validation of the Photovoice adapted method, a study is carried out in a public administration research center, more specifically the Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences, belonging to the Spanish National Research Council (hereinafter referred to as IETcc-CSIC).

2. Background

Before establishing which techniques and research methods can be taken from other disciplines, including social sciences, it is necessary to contextualize the user and its relationship with the building (Cuerdo-Vilches & Navas-Martín, 2015).

The user: a social being

The new organizational structure of societies have adopted numerous names, depending on the main elements that define them, such as "network society", post-industrial society, information society or knowledge society (Castells, 2000). This new way of relating, where technology is so present, affects all levels: cultural, economic, political, among others.

The figure of the "prosumer" emerges in this new social model (Hernández et al., 2014): The user is not only a passive consumer of content and information, but also interacts on the Internet, and generates content, interacting with the network, through multimedia tools in web 2.0 and later environments (Sánchez & Contreras, 2012).

The user's environmental commitment

Today's society has encountered an important challenge, due to the effects of continued and often devastating anthropogenic activity, and has become an environmental awareness, emerged in the last third of the twentieth century. At first, only some specific groups were more aware, such as the scientific community, environmental groups and some experts, who intervened in environmental policies, but now, with the worsening of the situation at a global level, environmental policies have become the vertebrate axis of public policies (Valencia et al., 2010).

At a more domestic level, the user has begun to become aware of the need to undertake energy and economic savings, beset by the most recent crises in both areas, since it has a direct impact on their daily

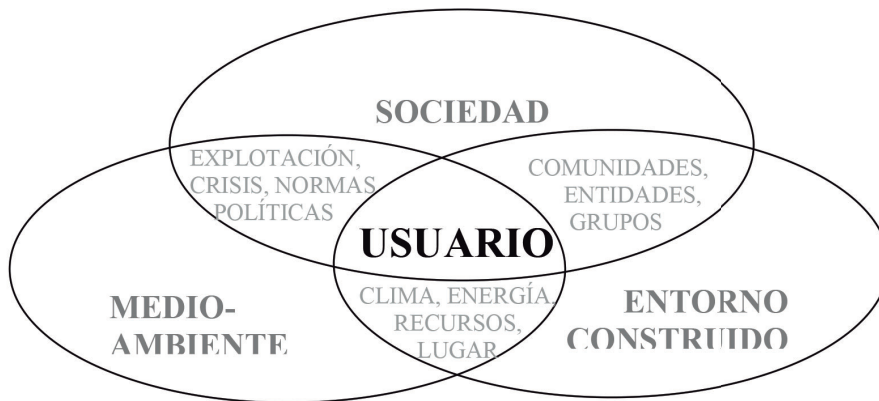


Figura 1. Esquema de la interacción actual del usuario como ser social, urbano y medioambiental. Fuente: elaboración propia, 2019.

(Castells, 2000). Esta nueva forma de relacionarnos, donde la tecnología está tan presente, hace que afecte a todos los niveles: cultural, económico, político, entre otros.

Surge en este nuevo modelo social la figura del "prosumer" (Hernández et al., 2014): es el usuario que no sólo es consumidor pasivo de contenidos e información, sino que interactúa en internet, y genera contenidos, interactuando con la red, a través de las herramientas multimedia en entornos web 2.0 y posteriores (Sánchez & Contreras, 2012).

El compromiso medioambiental del usuario

La sociedad actual se ha encontrado con un reto importante, debido a los efectos de la actividad antropogénica continuada y en múltiples ocasiones devastadora, y es la conciencia medioambiental, surgida en el último tercio del siglo XX. Al principio sólo algunos grupos concretos estaban más concienciados, como la comunidad científica, grupos ecologistas y algunos expertos, que intervenían en políticas medioambientales, pero actualmente, con el agravamiento de la situación a nivel global, las políticas medioambientales se han convertido en eje vertebrados de las políticas públicas (Valencia et al., 2010).

A nivel más doméstico, el usuario se ha comenzado a concienciar de la necesidad de acometer ahorros energéticos y económicos, acuciados por las crisis más recientes en los dos ámbitos, puesto que repercute directamente en su economía diaria.

Sin embargo, una de las asignaturas pendientes a este respecto se produce en los entornos de trabajo, donde confluyen una serie de circunstancias: de un lado, el usuario no se encuentra en confort, ya que a menudo no puede modificar ni tan siquiera parcialmente los valores de los parámetros ambientales para conseguirlo. Por otra parte, suele ocurrir que el usuario no es parte activa en la gestión energética del edificio, sino al contrario, como agente relevante resulta un elemento no controlado, imprevisible y por tanto, incómodo. Por último, los recursos econó-

economy.

However, one of the pending subjects in this regard occurs in work environments, where a series of circumstances converge: on the one hand, the user is not in comfort, since often he can not modify even partially the values of the environmental parameters to achieve it. On the other hand, it usually happens that the user is not an active part in the energy management of the building, but on the contrary, as an important agent, it is an uncontrolled, unpredictable and, therefore, uncomfortable element. Finally, the economic resources in these cases do not depend on the user, but on the entities, companies or institutions, so the user is not as aware.

User comfort seen by the scientific community

The energy consumption in the building is directly related to the user behavior, resulting in an uncertainty to predict and simulate them in the calculation models (Becchio et al., 2016, Hong et al., 2016, Sun & Hong, 2017, Yan et al., 2015, in Cuerdo, 2017), which leads to important distortions between the modeled and the real building performance in use stage (Buso et al., 2015, in Cuerdo, 2017). The conclusion is that the user behavior at any building stage is not a controlled variable, which leads to mistakes by simplifications both in the computer models and in the subsequent analysis (Hong et al., 2016, in Cuerdo, 2017).

Today there is a growing trend towards the user approach and their relationship with the building energy and its own comfort. This has generated many studies, which present methodological revisions on different research methods. These range from monitoring environmental variables, data mining, probabilistic calculations, 3D virtualization, advanced statistical methods, sensitivity analysis and uncertainties with simulation, or mixed methods. But the common denominator of all of them is the lack of the user experience told by themselves, where the dreaded subjectivity is left aside, in favor of the rigor of quality qualitative research, through the methods

micos en estos casos no dependen del usuario, sino de las entidades, empresas o instituciones, por lo que el usuario no está tan concienciado.

El confort del usuario visto por la comunidad científica.

El consumo de energía en el edificio está directamente ligado al comportamiento del usuario, resultando una incertidumbre para predecirlo y simularlo en los modelos de cálculo (Becchio et al., 2016; Hong et al., 2016; Sun & Hong, 2017; Yan et al., 2015; en Cuervo, 2017), lo cual acarrea importantes distorsiones entre lo modelizado y el comportamiento real del edificio en etapa de uso (Buso et al., 2015; en Cuervo, 2017). La conclusión es que el comportamiento del usuario en cualquier etapa del edificio no es una variable controlada, lo cual lleva a simplificaciones erróneas tanto en los modelos informáticos como en los análisis posteriores (Hong et al., 2016; en Cuervo, 2017).

Hoy día existe una tendencia en ascenso hacia la aproximación al usuario y su relación con la energética del edificio y su propio confort. Esto ha generado muchos estudios, que presentan revisiones metodológicas a su vez sobre diferentes métodos de investigación. Estos van desde la monitorización de variables ambientales, minería de datos, cálculos probabilísticos, virtualización 3D, métodos estadísticos avanzados, análisis de sensibilidad e incertidumbres con simulación, o métodos mixtos. Pero el común denominador de todos ellos es la ausencia de la experiencia del usuario contada por él mismo, donde se deje a un lado la subjetividad tan temida, a favor del rigor de la investigación cualitativa de calidad, a través de los métodos y técnicas que existen.

3. Metodología

Hay un mundo más allá de las encuestas

Para la inmensa mayoría de los investigadores no relacionados con las ciencias sociales y de la salud, cuando se les pregunta acerca de métodos o técnicas para conocer la opinión o determinada información sobre el usuario, surge el concepto recurrente: "¿vas a hacer encuesta?", o incluso se vuelve una aseveración: "Aaaah... vais a hacer encuestas".

Las encuestas pertenecen a la denominada investigación cuantitativa. Esto es, obtener una determinada información de la población que permita la agregación de datos con una muestra mínima, y una serie de condicionantes.

Sin embargo, la principal limitación atribuible a las encuestas, además de la necesidad de muestra mínima representativa (como en toda investigación cuantitativa); es el posible sesgo derivado de la orientación preestablecida de las respuestas cerradas para contestar a cada pregunta. Existe por tanto

and techniques that exist.

3. Methodology

There is a universe beyond surveys

For the vast majority of researchers not related to the social and health sciences, when asked about methods or techniques to know the opinion or certain information about the user, the recurrent concept arises: "Are you going to do a survey?", Or even becomes an assertion: "Aha! ... you are going to do surveys". Surveys belong to the so-called quantitative research. That is, obtaining certain information from the population that allows the aggregation of data with a minimum sample, and a series of conditions. However, the main limitation attributable to surveys, in addition to the need for a representative minimum sample (as in all quantitative research); it is the possible bias derived from the pre-established orientation of the closed answers given for each question. There is therefore some concern about the fact that results are in some way driven towards a certain response, or at least expressing a certain trend.

The good news is that there are multiple methods and techniques that manage to prevent these possible biases, some better known, but most of them new to a large part of the research community, which are those related to qualitative research. The great contribution of qualitative research is to provide quality information, and not so much in quantity (that's why it is called qualitative). The meaning of using these methods and techniques is to know and understand an unknown reality from a closer, almost intimate, and realistic perspective. For this reason, the techniques promote direct contact between the researcher and the subject studied, since their narrated testimony is decisive, despite being able to be supported on occasions in other supports (data) such as images, for example. Other techniques reveal the experiences of the subjects through group experiences (focus groups or discussion groups), using the debate as a tool to trigger dialogue. This set of techniques and methods are called Participatory Action Research (IAP). Its main asset is the elaboration of the collective discourse, arising as the different participants that make up the study group share their experience around a specific topic.

Another type of techniques and methods of qualitative research are those that are based on another type of data, more symbolic, such as images. Image owns a great power of communication, transmitting much more than a mere snapshot, since it speaks in turn of an intention and a specific moment, of a story. Likewise, images provides to the testimony a certain "objectivity"; If deficiencies or problems are being addressed around a specific issue, the image shows, rather than personal testimony, that it can be nuanced with the issuer's subjectivity. On the other

cierta preocupación por el hecho de que los resultados de la misma estén de alguna forma predirigidos hacia un determinado resultado, o al menos expresen cierta tendencia.

La buena noticia es que existen múltiples métodos y técnicas que logran prevenir estos posibles sesgos, algunos más conocidos, pero la mayoría nuevos para gran parte de la comunidad investigadora, que son aquellos pertenecientes a la investigación cualitativa.

La gran aportación de la investigación cualitativa consiste en facilitar información de calidad, y no tanto en cantidad (por eso se denomina cualitativa). El sentido de utilizar estos métodos y técnicas es conocer y comprender una realidad desconocida desde una perspectiva más cercana, casi íntima, y de forma realista. Por ello, las técnicas promueven el contacto directo entre investigador y sujeto estudiado, puesto que su testimonio narrado es decisivo, pese a poder estar apoyado en ocasiones en otros soportes (datos) como puedan ser las imágenes, por ejemplo.

Otras técnicas dan a conocer las vivencias de los sujetos a través de experiencias grupales (grupos focales o grupos de discusión), utilizando el debate como herramienta detonante del diálogo. A este conjunto de técnicas y métodos se les denomina Investigación-Acción Participativa (IAP). Su principal baza es la elaboración del discurso colectivo, surgido a medida que los distintos participantes que componen el grupo de estudio comparten su experiencia en torno a un tema concreto.

Otro tipo de técnicas y métodos de investigación cualitativa son aquellas que se basan en otro tipo de datos, más simbólicos, como puedan ser imágenes. En la imagen se encuentra un gran poder de comunicación, transmitiendo mucho más que una mera instantánea, puesto que habla a su vez de una intención y un momento concreto, de una historia. Así mismo, la imagen confiere al testimonio cierta "objetividad"; si se están tratando las carencias o problemas en torno a un tema concreto, la imagen evidencia, más que el testimonio personal, que puede ser matizado con la subjetividad del emisor. Por otra parte, según Susan Sontag, una imagen sin contexto perdía parte de su intención y sentido.

En la investigación cualitativa, el investigador recibe la denominación de "facilitador", puesto que es quien guía el discurso sin mezclarse en él. No opina, no lo dirige, pero sí guía, facilita las herramientas para las sesiones conjuntas, y potencia la comunicación cuando se producen estancamientos o vacíos de comunicación. Es a menudo la persona encargada de analizar los contenidos y categorizar los resultados, o forma parte del grupo de investigación que elabora esa parte del trabajo. La investigación cualitativa no jerarquiza al investigador por encima de los sujetos de estudio, ya que el propio valor del discurso y su

hand, according to Susan Sontag, an image without context loses part of its intention and meaning.

In qualitative research, the researcher receives the denomination of "facilitator", since they are who guide the discourse without mixing in it. With no opinions, they don't manage, but guide, facilitating the tools for joint sessions, and enhancing communication when there are stagnation or communication gaps. They are in charge of analyzing the contents and categorizing the results, or as part of the research group that elaborates such work. Qualitative research does not rank the researcher above the subjects of study, since the very value of the discourse and its joint construction as it emerges, legitimizes the subject himself as a co-researcher.

The theoretical framework from which this research arises, greatly enriches the discourse itself, beyond the subjects' own contribution. The critical consciousness of pedagogue Paulo Freire originated decades ago that participatory research, applied in vulnerable or marginal areas, where their inhabitants managed to have a voice, tell their experiences, and reasonably understand their reality, to later communicate them to political decision makers or institutions with power of execution. The subject then, aware of the need for change, takes an active position enacting the change, motivated, and enable such change. Empowering.

It is under this theoretical umbrella that the Photo-voice technique emerges, used for the study presented below

4. IETcc-CSIC as a case-study.

The Institution

The main building where the IETcc is located is unique because of multiple issues. Firstly, it was built in the 50s, with a certain level of patrimonial protection, and belongs to the Public Administration. Its users are construction research specialists, and in a certain proportion they are building experts, and some, in addition, are familiar with energy and comfort issues. Paradoxically, this does not make them rebel more comfortable in their workplace where they daily develop their research activity.

In fact, the building, which once was an example of a technical and constructive application pointer, as a result of the joint effort of a multidisciplinary group of professionals in direct contact with worldwide references in this field, has been aging, and, as it occurs in so many examples of publicly-managed buildings, and more so with some degree of protection, it is difficult to give an updated response to ensure the expected interior comfort. Problems arising from the construction itself and its "age", such as thermal bridges, infiltration through the facade, or discomfort in offices and large workspaces (warehouses, work-

construcción conjunta conforme surge, legitima al propio sujeto como co-investigador.

El marco teórico de donde se emanan estas investigaciones enriquece mucho el propio discurso, más allá de la aportación de los sujetos. La conciencia crítica del pedagogo Paulo Freire originó hace décadas que la investigación participativa, aplicada en áreas vulnerables o marginales que sus habitantes lograran tener voz, contaran sus experiencias, y comprendieran razonadamente su realidad, para posteriormente comunicarlas a decisores políticos o instituciones con poder de ejecución. El sujeto entonces, consciente de la necesidad de cambio, toma una posición activa frente al cambio, se ve motivado, y afronta tal cambio. Se empodera.

Es bajo este paraguas teórico donde surge la técnica Photovoice, utilizada para el estudio que se presenta a continuación.

4. El IETcc-CSIC como caso de estudio.

La Institución

El edificio principal donde se ubica el IETcc es singular por múltiples cuestiones. En primer lugar, se trata de un edificio construido en los años 50, con cierto grado de protección patrimonial, y pertenece a la Administración Pública. Sus usuarios habituales son especialistas investigadores en construcción, y en cierta proporción estudian el edificio, y algunos, además, en cuestiones energéticas y de confort. Paradójicamente, esto no les hace rebelarse más confortables en el espacio que habitan a diario para ejercer su actividad investigadora. De hecho, el edificio, que en su día fuera un ejemplo de aplicación técnica y constructiva puntero, como resultado del esfuerzo conjunto de un grupo multidisciplinar de profesionales en contacto directo con referentes a nivel mundial en este campo, ha ido envejeciendo, y, como ocurre en tantos ejemplos de edificios de gestión pública, y

shops or laboratories), are some of the reasons that were already beginning to be good known in the work environment. However, no previous study had found it graphically, nor had the general malaise of its users been registered before, let alone the details attributable to each of the spaces separately; the day-to-day living in these spaces made the building a clear candidate for the study.

All these reasons make the main building of the IETcc-CSIC an good space to apply this technique and thus validate it for issues related to the energy management of the building, since in fields such as social sciences and health has been widely used successfully.

5. Photovoice as a technique adapted to comfort in buildings

The technique called Photovoice, belonging to qualitative research, feeds on images taken by the study subjects themselves, who contextualize them to narrate certain deficiencies or problems, around a specific topic, which affects a certain community. When applied to the building, the photographs and their testimonies developed in group sessions talk about comfort in those spaces occupied by the subjects of study. Building users, who have voluntarily agreed to participate, have established a hierarchy of deficiencies related to the building and their perception of comfort through the group sessions, which they subsequently categorize. They select the photographs that define them as collectivity, to later expose them, and finally they elaborate and categorize a series of improvement proposals, in the light of the experiences narrated in a group, to transmit them to the decision-makers of the management of the building, after the exercise of critical consciousness worked in the previous group sessions. This generates a level of individual and group commitment in the participating subjects, since the work for a common good, in this case the comfort of the working space, reinforces the autonomy of the users, making them



Figura 2. Edificio principal del IETcc-CSIC (Madrid) y entorno inmediato. Foto tomada pocos años después de su inauguración.

más en su caso con cierto grado de protección, resulta complicado dar una respuesta actualizada para asegurar el confort interior esperable. Problemas derivados de la propia construcción y de su "edad", como puentes térmicos, infiltraciones en fachada, o disconfort en los despachos y espacios amplios de trabajo (naves, talleres o laboratorios), son algunas de las razones que ya empezaban a ser bien conocidas en el ambiente de trabajo. No obstante, ningún estudio previo lo había constatado de forma gráfica, ni se había registrado antes el malestar general de sus usuarios, menos aún los pormenores atribuibles a cada uno de los espacios por separado; el día a día habitando estos espacios hacían al edificio claro candidato para el estudio.

Todas estas razones hacen del edificio principal del IETcc-CSIC un espacio idóneo para aplicar esta técnica y así validarla para cuestiones relacionadas con la gestión energética del edificio, ya que en campos como las ciencias sociales y de la salud ha sido ampliamente utilizada con éxito.

5. Photovoice como técnica adaptada al confort en edificios

La técnica denominada Photovoice, perteneciente a la investigación cualitativa, se alimenta de imágenes tomadas por los propios sujetos de estudio, quienes las contextualizan para narrar determinadas carencias o problemas, en torno a un tema concreto, que afecta a determinada colectividad. Al aplicarlo sobre el edificio, las fotografías y sus testimonios desarrollados en sesiones grupales hablan en este caso del tema del confort en los espacios utilizados por los sujetos de estudio. Los usuarios del edificio que voluntariamente han accedido a participar, han establecido una jerarquía de carencias relacionadas con el edificio y su percepción de confort a través de las sesiones grupales, que categorizan posteriormente. Seleccionan las fotografías que los definen como colectividad, para posteriormente exponerlas, y finalmente elaboran y categorizan una serie de propuestas de mejora, a la luz de las experiencias narradas en grupo, para transmitírselas a los decisores de la gestión del edificio, tras el ejercicio de conciencia crítica trabajado en las sesiones grupales previas. Esto genera un nivel de compromiso individual y grupal en los sujetos participantes, puesto que el trabajo por un bien común, en este caso el confort del espacio laboral, refuerza la autonomía de los usuarios, a la vez que les hace sentirse útiles como parte de la colectividad.

Reclutamiento y constitución del grupo

En primer lugar, se invita voluntariamente a los trabajadores a una sesión informativa sobre la acción que se quiere acometer, es decir, a la aplicación del Photovoice. Hay que tener en cuenta que el reclutamiento de voluntarios participantes debe ser, y más en este entorno laboral, una cuestión de decisión

at the same time feel useful as part of the collectivity.

Group recruitment and constitution

Firstly, workers are invited voluntarily to an informative session about the action that they want to undertake, that is to say, the application of the Photovoice method. It must be taken into account that the recruitment of participating volunteers must be, and more in this working environment, a matter of personal decision, and not forced. Since it consists of qualitative research, not only a minimum sample of participants is not needed, but it is also preferable to have small groups, so that the information provided offers more quality, is narrated in detail, and without tensions of any kind. While it is true that this research does not represent the community, it gives great clues about the main shortcomings, in order to later address other types of techniques or methods that allow the characterization of the collective and its problems.

Usually, one or more people who also act as facilitators or links between researchers and the study group are used for the application of this technique, to favor the degree of trust and openness to personal or more intimate issues. In this case, as the principal investigator was the promoter of the initiative and is also a permanent user of the building, she used her affinity with other building workers to establish a first explanatory contact of the project, its operation and implications, individual and informally, as well as to invite them to the zero or informative session. It should be noted that the recruitment in this case worked before the zero session itself, since from all who were contacted, those who showed reservations to participate, (almost all derived from the confidentiality of their work, which came into conflict with the taking of photos), they did so before attending, while all the attendees later appeared as volunteer participants. After the briefing, sixteen volunteers expressed their desire to participate. All of them are admitted, since the requirement was to be a permanent user of the building for about six months, to have a mobile phone with internet and a camera (which only one of them did not fulfill), and to be able to attend the established sessions. Taking into account that the ideal number of participants in these groups is between 5 to 9 people, the sixteen volunteers were grouped in a homogeneous way according to the level of knowledge in the field of building energy.

After the briefing, sixteen volunteers expressed their desire to participate. All of them are admitted, since the requirement was to be a permanent user of the building for about six months, to have a mobile phone with internet and a camera (which only one of them did not fulfill), and to be able to attend the established sessions. Taking into account that the ideal number of participants in these groups is between 5 to 9 people, the sixteen volunteers were

personal, y no forzada. Al tratarse de investigación cualitativa, no sólo no se necesita muestra mínima de participantes, sino que además es preferible contar con grupos reducidos, para que la información facilitada sea de calidad, sea contada en toda su magnitud, y sin tensiones de ningún tipo. Si bien es cierto que esta investigación no representa a la colectividad, da grandes pistas sobre las principales carencias, para poder abordar con posterioridad otro tipo de técnicas o métodos que permitan la caracterización del colectivo y su problemática.

Habitualmente, se suele utilizar para la aplicación de esta técnica a una o varias personas que actúan también de facilitadores o nexos entre los investigadores y el colectivo de estudio, para favorecer el grado de confianza y apertura ante cuestiones personales o más íntimas. En este caso, como la investigadora principal fue la promotora de la iniciativa y además es usuaria del edificio de forma permanente, utilizó su afinidad con otros trabajadores del edificio para establecer un primer contacto explicativo del proyecto, su funcionamiento e implicaciones, de forma individual e informal, así como para invitarlos a la sesión cero o sesión informativa. Cabe destacar que el reclutamiento en este caso funcionó antes de la propia sesión cero, ya que de los contactados, los que mostraron reservas para participar, (casi todas derivadas de la confidencialidad de sus trabajos, que entraban en conflicto con la toma de fotos), lo hicieron antes de asistir, mientras que todos los asistentes constaron después como participantes voluntarios.

Tras la sesión informativa, fueron dieciséis voluntarios los que expresaron su deseo de participar. Se admite a todos ellos, puesto que el requisito era ser usuario del edificio de forma permanente desde hacía unos seis meses, tener móvil con internet y cámara de fotos (lo cual sólo no cumplía uno de ellos), y poder asistir a las sesiones establecidas. Teniendo en cuenta que el número ideal de participantes en estos grupos es de entre 5 a 9 personas, los dieciséis voluntarios fueron agrupados de forma homogénea según el nivel de conocimientos en materia de energética edificatoria. Así, surgieron tres subgrupos equilibrados (cada uno de cinco miembros, salvo uno que tenía un miembro más, ocasional), a los que en esta etapa inicial se informa sobre todo lo relacionado con la aplicación metodológica, incluidas implicaciones personales, autoría de imágenes, grabación de las sesiones grupales, consentimientos informados y a terceros implicados. También se les comunica el alcance de la investigación, objetivos, duración y tareas, para que dieran su consentimiento. Todo fue registrado para posteriormente analizarlo.

En la sesión cero, además de constatar el compromiso de los voluntarios potenciales captados, se informa sobre todo lo que implica el procedimiento, además de ofrecer, tal y como describe la metodología Photovoice original, una sesión sobre fotogra-

grouped in a homogeneous way according to the level of knowledge in the field of building energy. Thus, three balanced subgroups emerged (each of five members, except one that had one more, occasional member), who in this initial stage is informed about everything related to the methodological application, including personal implications, image authorship, recording of group sessions, informed consents and third parties involved. They are also informed of the scope of the investigation, objectives, duration and tasks, so that they give their consent. Everything was recorded for later analysis.

In the zero session, in addition to verifying the commitment of the potential volunteers recruited, everything about the procedure is informed, in addition to offering, as described in the original Photovoice methodology, a session on photography, basic parameters and how to take out the greater match to an image, especially focused on the use of Smartphones.

Data obtained

The collection of user data comes from four main sources: images, personal testimonies that contextualize the images taken individually, group discussions, and demographic forms and questionnaires.

The pictures

The group is proposed to take photographs by using their smartphones. Only one of the sixteen participants lacked a mobile phone with these characteristics, so he did not participate with images, but he did participate in the other dynamics of the Photovoice. The fifteen who contributed images used a well-known mobile application of instant messaging (WhatsApp) or email to deliver them to the facilitator-researcher. A total of 52 photographs were taken, from which thirteen were selected by the subgroups as representative of the collective.

The contextualization of images: the narrative

The information that accompanied the photographs contributed by each participant were of two types, one, through personal descriptions of the images by each author told to the rest of the group; and two, through the written forms, which were delivered in digital format or paper. Both sources were later analyzed together with the rest of the recorded data.

Group discussion, collective discourse

The photographs and testimonies that contextualized them were the vehicle that triggered the group discourse. The objective was to analyze the above, categorize the problems to rank them, and suggest improvement proposals. The audio of the sessions was recorded and transcribed for later analysis.



fía, parámetros básicos y cómo sacar el mayor partido a una imagen, en especial enfocada al uso de Smartphone.

Datos obtenidos

La obtención de datos de los usuarios procede de cuatro fuentes principales: imágenes, testimonios personales que contextualizan las imágenes tomadas individualmente, los debates grupales, y los formularios y cuestionarios demográficos.

Las fotografías

Se propone al grupo tomar las fotografías mediante el uso de sus smartphones. Tan sólo uno de los dieciséis participantes carecía de móvil con estas características, por lo que no participó con imágenes, pero sí en el resto de dinámicas del Photovoice. Los quince que aportaron imágenes utilizaron una conocida aplicación móvil de mensajería instantánea (Whatsapp) o correo electrónico para hacer entrega de las mismas a la facilitadora-investigadora. Se tomaron un total de 52 fotografías, de las cuales trece fueron seleccionadas por los subgrupos como representativas del colectivo.

La contextualización de las imágenes: la narrativa

La información que acompañaba a las fotografías aportadas por cada participante fueron de dos tipos, una, mediante descripciones personales de las imágenes por cada autor ante el resto del grupo; y dos, a través de los formularios escritos, que fueron entregados en soporte digital o papel. Ambas fuentes fueron analizadas posteriormente junto con el resto de datos registrados.

Debate grupal, discurso colectivo

Las fotografías y los testimonios que las contextualizaban fueron el vehículo detonante del discurso grupal. El objetivo consistía en analizar lo expuesto, categorizar los problemas para jerarquizarlos, y elaborar propuestas de mejora. El audio de las sesiones se grabó y transcribió para su posterior análisis.

Demographic forms and questionnaires

Forms had different functions. One of them provided information about the main aspects of the project, the implications, and issues related to the participation of the volunteers, such as authorship, privacy or guarantee of voluntariness when participating in the study. In the same way, the participants personally signed an informed consent, and they were urged, in case their photographs captured other people, to provide the informed consent to third parties. The demographic questionnaire, in addition to giving general information about the participants, facilitated the task of forming subgroups through homogeneous profiles, since it was interesting to establish possible connections between the discourse of each subgroup and their level of knowledge in the field of building energy. The study revealed that there were no significant differences attributable to such consideration. All forms were given in writing to the facilitator.

Data analysis

To analyze the data obtained from the four sources mentioned above, the Content Analysis technique was used. The task consisted of crossing the different discourses compiled through different supports, to make a single discourse, agreed upon, which culminated in a single final categorization of those problems detected, and another final categorization on solutions provided for each one of them. The selection of photos was agreed with the subgroups to agree a single one for the community, and finally a secondary categorization was generated, which gathered aspects about comfort and other secondary issues, which the group had contributed as revelations, underlying the discourses registered. We used text-mining analysis, with word frequency detection by repetition, and the use of keywords, as well as a complementary analysis to cross the terms of the primary and secondary categorizations.

6. Results and discussion

This experience of applying Photovoice revealed very interesting findings, many of them unexpec-

Figuras 3, 4 y 5.

Algunas de las imágenes seleccionadas por los tres subgrupos como representativas. Fuente: Recopilación de fotos para Photovoice en IETcc-CSIC, 2017.



Figura 6. Etapas de recogida y análisis de datos, y canales de comunicación con la facilitadora. Fuente: elaboración propia, 2018.

Formularios y cuestionarios demográficos

Los formularios tenían diversas funciones. Uno de ellos facilitaba información acerca de los aspectos principales del proyecto, las implicaciones, y cuestiones relativas a la participación de los voluntarios, como autoría, privacidad o garantía de voluntariedad al participar en el estudio. Del mismo modo, los participantes firmaron de modo personal un consentimiento informado, y se les instaba, en caso de que sus fotografías captasen a otras personas, a aportar el consentimiento informado a terceros. El cuestionario demográfico, además de dar información general sobre los participantes, facilitó la tarea de la formación de subgrupos a través de perfiles homogéneos, ya que interesaba establecer posibles conexiones entre el discurso de cada subgrupo y su grado de conocimiento en materia de energética edificatoria. El estudio reveló que no existían diferencias significativas atribuibles a tal consideración. Todos los formularios se dieron por escrito a la facilitadora.

Análisis de datos

Para analizar los datos obtenidos de las cuatro fuentes antes mencionadas se recurrió a la técnica de Análisis de Contenidos. La tarea consistió en cruzar los diferentes discursos recopilados a través de diferentes soportes, para confeccionar un único discurso, consensuado, que culminó en una única categorización final de aquellos problemas detectados, y otra categorización final sobre soluciones aportadas para cada uno de ellos. La selección de fotos se consensó con los subgrupos para acordar una única para la colectividad, y finalmente se generó una categorización secundaria, que recogía aspectos sobre el confort y otras cuestiones secundarias, que el grupo había aportado a modo de revelaciones, subyacentes en los discursos registrados. Se recurrió al análisis por minería de texto, con detección de frecuencias de palabras por repetición, y uso de palabras clave, así como un análisis complementario para cruzar los términos de las categorizaciones primaria y secundaria.

6. Resultados y discusión

Esta experiencia de aplicación del Photovoice reveló

ted, both in the form of images and the associated narrative contributed by the participants. Thanks to the group work, the participants acquired knowledge about the building and the needs of colleagues, which could be similar or not to their own.

From the application of this technique we conclude a series of difficulties to be taken into account: the first, the performance of these tasks during working hours, most of them in groups. Already in the recruitment phase there was a certain reluctance to participate by certain people who feared reprisals, or distrust on the part of their superiors. Second, the difficulty of providing data on certain media. If the planning had been greater from the start, and not giving too many alternatives, the data collection would have been more effective and efficient.

If only digital media were used, the data dump and subsequent analysis would have been faster and better organized for the investigation. With a simple registration of the user, the digital signature would have been solved, avoiding the delivery of questionnaires by hand, for example.

This generates a possible way of exploration, for future applications of these techniques, to facilitate resources in digital media through the Internet, such as online forms, mobile Apps, or other intelligent systems, among others, so that information is provided quickly bilaterally. Thus, the group sessions could be reduced in time, so that they will only be devoted to ideal group discussion to facilitate the documentation. In this way, the group sessions could be more reduced, leaving only for discussion and other group tasks, such as the categorization and selection of photos, which must be face-to-face.

7. Conclusions and future worklines

The main idea behind the results obtained is that the user's participation within the energy management in existing buildings is not only convenient and possible, but also urgent. Especially in singular buildings or for non-residential use.

Qualitative techniques provide the keys to obtain very useful information at first hand, which are enlightening when establishing more appropriate stra-

hallazgos muy interesantes, muchos de ellos inesperados, tanto en forma de imágenes como de la narrativa asociada que aportaron los participantes. Gracias al trabajo en grupo, los participantes adquirieron conocimientos sobre el edificio y sobre las necesidades de otros, que podían ser similares o no a las suyas propias.

De la aplicación de esta técnica se extrae como conclusión una serie de dificultades a tener en cuenta: la primera, la realización de estas tareas en horario laboral, la mayoría grupales. Ya en la fase de reclutamiento se observó cierta reticencia a participar por ciertas personas que temían represalias, o recelo por parte de sus superiores. En segundo lugar, la dificultad de facilitar los datos en determinados soportes. Si la planificación hubiera sido mayor desde primer momento, y no dando demasiadas alternativas, la recopilación de datos habría sido más efectiva y eficiente.

De haber utilizado soportes únicamente digitales, el volcado de datos y posterior análisis habría resultado más rápido, y mejor organizado de cara a la investigación. Con un simple registro del usuario, se habría resuelto la firma digital, evitando la entrega de cuestionarios a mano, por ejemplo.

Esto genera una posible vía de exploración, de cara a futuras aplicaciones de estas técnicas, para facilitar recursos en soportes digitales a través de internet, como formularios online, Apps móviles, u otros sistemas inteligentes, entre otros, de forma que la información se facilite de forma rápida bilateralmente. Así, las sesiones grupales podrían reducirse en tiempo, de forma que sólo se dedicaran a debate grupal idóneo para facilitar la documentación. De este modo, las sesiones grupales podrían ser más reducidas, dejándose únicamente para el debate y otras tareas grupales, como la categorización y selección de fotos, que debe ser presencial.

7. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Como principal idea al amparo de los resultados obtenidos es que la participación del usuario en la gestión de la energía en edificios existentes no sólo es conveniente y posible, sino que es urgente. Máxime en edificios singulares o de uso no residencial.

Las técnicas cualitativas facilitan las claves para obtener información muy útil de primera mano, que resulten esclarecedoras a la hora de establecer estrategias más adecuadas según las necesidades reales de los edificios, puesto que pueden guiar a los investigadores, profesionales y técnicos hacia un trabajo mucho más ajustado a la realidad, y eficiente en tiempo y recursos. Photovoice ha resultado muy útil como herramienta para esta tarea de detección de carencias de confort en el espacio de trabajo, y propuesta de soluciones de mejora para paliarlas,

según las necesidades reales de los edificios, ya que pueden guiar a investigadores, profesionales y técnicos a un trabajo mucho más ajustado a la realidad, y eficiente en tiempo y recursos. Photovoice ha sido muy útil como herramienta para esta tarea de detectar falta de confort en el lugar de trabajo, y propuestas de soluciones para mejorarlas, así como de ser muy innovadora y atractiva para los participantes, algunos de ellos inicialmente reacios a utilizar fotografías para documentar esa falta de confort.

La planificación de la recolección de datos a través de un único soporte, digitalmente posible, utilizando como vehículo internet, simplifica las sesiones de trabajo y el tiempo, ya que los canales de comunicación entre el participante, el grupo, y el investigador-facilitador se simplifican.

Como última sugerencia, es interesante combinar esta técnica con otras que faciliten la recolección de datos, como la cuantificación de parámetros ambientales con el monitoreo, por ejemplo, así como beneficiarse de métodos inteligentes como el análisis de datos a través de "nubes", entre otras soluciones actualmente disponibles.

además de resultar muy innovador y atractivo para los participantes, algunos en principio reticentes al uso de fotografías para testimoniar esas carencias de confort.

La planificación de recogida de datos mediante un único soporte, a ser posible digital, utilizando como vehículo internet, simplifica las sesiones de trabajo y el tiempo, ya que se simplifican los canales de comunicación entre el participante, el grupo, y la investigadora-facilitadora.

Como última sugerencia, resulta interesante combinar esta técnica con otras que faciliten la obtención de datos, como es la cuantificación de parámetros ambientales con monitorización, por ejemplo, así como beneficiarse de métodos inteligentes como el análisis de datos masivo mediante "nubes", entre otras soluciones disponibles actualmente.

Agradecimientos / Acknowledgements

Agradecer al Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja (IETcc-CSIC), a su Dirección y a todos aquellos usuarios que participaron activamente en la investigación con la aplicación de Photovoice, así como a quienes facilitaron documentación escrita, gráfica y en general a aquellos cuyas aportaciones han enriquecido este trabajo.

We thank to the Eduardo Torroja Institute for Construction Sciences (IETcc-CSIC), its Director and all users who participated actively in this study with Photovoice application; those who facilitated written and graphic documentation, and in general to all whose contributions have enriched this work.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Cuerdo Vilches, M.T. (2017). La participación del usuario en la gestión energética de edificios: aplicación del método photovoice en espacios de trabajo. (Tesis Doctoral Inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [2] Cuerdo-Vilches, M.T., Navas-Martin, M.A. (2015). El empoderamiento del usuario como agente co-gestor ambiental del edificio a través de la gamificación. Comunicación en el II Congreso Internacional CICSE. Sevilla.
- [3] Castells, M. (2000). Globalización, sociedad y política en la era de la información. Revista Bitácora Urbano Territorial, (4), 42-53. Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=74810408>.
- [4] Hernández y Hernández, D., Ramírez-Martinell, A., & Cassany, D. (2014). Categorizando a los usuarios de sistemas digitales. Revista de Medios y Educación, 44, 113-126.
- [5] Sánchez Carrero, J., & Contreras Pulido, P. (2012). De cara al prosumidor: producción y consumo empoderando a la ciudadanía 3.0. Revista ICONO14. Revista científica de Comunicación y Tecnologías emergentes.
- [6] Valencia, Á., Arias, M., & Vázquez, R. (2010). Ciudadanía y conciencia medioambiental en España. Opiniones y Actitudes - CIS (Vol. 67). Recuperado a partir de <http://www.cis.es/cis/opencms/-Archivos/Publicaciones/OyA/OyA67a.pdf>.

El confort del usuario en el lugar de trabajo: diseño de App para el edificio IETcc-CSIC (Madrid)

Users' comfort in their workplace: design of App for the IETcc-CSIC building (Madrid)

Teresa Cuervo-Vilches¹, Miguel Ángel Navas-Martín²

ABSTRACT

Debido a la necesidad de actualizar el parque edificatorio existente en términos de confort y uso eficiente de energía y recursos naturales, las directrices europeas en los últimos tiempos han promovido políticas e incentivos dirigidos hacia la alta eficiencia, la rentabilidad económica, y el consumo de energía prácticamente nulo, sin mermar el valor patrimonial de los edificios singulares, y en lo posible, adoptando sistemas inteligentes para optimizar la gestión del mismo. No obstante, existe aún cierto rechazo a que el usuario del edificio adopte un papel activo en la gestión eficiente del edificio en términos de energía, hacia modelos más eficientes. A partir de experiencias participativas con usuarios de un edificio singular de Madrid, y utilizando técnicas provenientes de las ciencias sociales, la teoría motivacional y la gamificación, se propone un prototipo de App móvil para los usuarios del edificio estudiado. Estas técnicas se basan en elementos de juego aplicados a entornos no lúdicos, las cuales ya han ofrecido casos de éxito en áreas como la Medicina, el Márketing o la Educación. Con esta propuesta, se pretende generar una participación del usuario proactiva, motivada, crítica y formada, durante la vida útil del edificio. Tras haber establecido un anterior estudio diagnóstico y de propuestas de mejora con una muestra representativa de usuarios del edificio, la propuesta de la App se establece a fin de recabar información de forma masiva, voluntaria y motivacional al máximo de usuarios del edificio posible. A través del trabajo previo interdisciplinar, el equipo de profesionales que lo desarrolla trabaja la motivación de los usuarios para comprometerse con la actividad diaria del edificio y su funcionamiento, para lo cual se aplican teorías motivacionales como la teoría de la Autodeterminación, que potencia el vínculo del usuario- trabajador con la institución corporativa, con el entorno construido y sus singularidades, así como con los gestores del edificio. Todo esto se desarrolla en un entorno virtual que utiliza recursos de la cultura corporativa, elementos de narrativa relacionados con el edificio y su actividad, lo cual resulta atractivo para el usuario, provocando su visita recurrente a la App, de forma que se genere mucha información útil para gestores y profesionales ante posibles actuaciones rehabilitadoras de forma eficiente y duradera. Por último, esta aplicación móvil posibilita la aplicación simultánea de métodos mixtos tanto de registro como de análisis de datos, que podrían facilitar la cuantificación de parámetros objetivos relacionados con el ambiente interior y el confort, por ejemplo, a través de monitorización o aplicación de sistemas inteligentes (IoT, IPS), tratados en la nube, así como la relación entre parámetros, para la elaboración de estrategias y toma de decisiones más ajustadas a la realidad del edificio en concreto. Esto hoy día tiene un potencial casi infinito, contribuyendo positivamente al alcance de los objetivos de descarbonización y alta eficiencia que Europa busca para el parque edificado existente en sus estados miembros.

Key Words: Confort del usuario, App, gestión colaborativa, gamificación, edificio.

(1) IETcc-CSIC, c/Serrano Galvache 4, 28033, Madrid, +34 913020440, ext. 870417, teresacuervo@ietcc.csic.es (2) ISCI, Avda. Monforte de Lemos 5, 28029, Madrid

1. Introducción

El cambio climático es uno de los problemas más graves a los que se enfrenta la humanidad en nuestro tiempo. Tras varias décadas de debates, la amenaza del cambio climático es un hecho, siendo el humano su principal responsable. La sobreexplotación de los recursos fósiles, en detrimento del uso de energías renovables, y las emisiones de gases de efecto invernadero están provocando el deterioro del planeta. El cambio climático supone un problema que no sólo tiene repercusiones medioambientales, también conlleva consecuencias sociales, económicas y políticas.

En los últimos años, en la búsqueda de diferentes soluciones para mitigar las consecuencias del cambio climático, se han desarrollado políticas públicas destinadas al ahorro y la eficiencia energética. Uno de los sectores implicados en estas nuevas políticas es el sector de la construcción y edificación.

El sector de la construcción, además se ha visto afectado por la crisis inmobiliaria sobrevenida tras una ingente construcción de edificios en las últimas décadas. Ante la actual inactividad en obra de nueva planta, los profesionales relacionados con el sector tienen ante sí la oportunidad de encontrar un nuevo nicho de mercado en la rehabilitación de edificios existentes.

En España, actualmente casi el 55% del parque edificado es anterior a 1980 y el 21% tiene más de 50 años de antigüedad (Ministerio para la Transición Ecológica, s. f.). Hasta el año 2006 no se crea un marco normativo que contemple aspectos relacionados con el ahorro y la eficiencia energéticos para edificios a través del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esto supone que a casi el 58% del parque de edificios existente en España no se le ha aplicado ningún tipo de regulación con respecto a la eficiencia energética (Ministerio para la Transición Ecológica, s. f.).

En Europa, el 40% del consumo de energía final corresponde a los edificios (Ministerio para la Transición Ecológica, s. f.). Por ello, se están articulando normativas y planes estratégicos en busca de la reducción del consumo energético, además de fomentar el uso de energías renovables en el ámbito de la edificación. Entre los distintos planes estratégicos de la Unión Europea, destaca el Horizonte 2020, con medidas de ahorro y eficiencia energéticos para este sector. En particular, la estrategia incluye medidas para los edificios no residenciales, por tratarse de aquellos que demandan una mayor cantidad de energía.

En el desarrollo de medidas para la reducción del consumo energético a través del conocimiento científico, la mayoría de las estrategias están orientadas a la predicción del comportamiento energético en los edificios. Estas se realizan a través de simulacio-

1. Introduction

Climate change is one of the most serious problems that humanity faces in our time. After several decades of debates, the threat of climate change is a fact, being the human its main responsible. The overexploitation of fossil resources, to the detriment of the use of renewable energies, and the emission of greenhouse gases are causing the deterioration of the planet. Climate change supposes a problem that not only has environmental repercussions, but also has social, economic and political consequences.

In recent years, seeking different solutions to mitigate the consequences of climate change, public policies aimed at energy saving and efficiency have been developed. One of the sectors involved in these new policies is construction and building. Facing the current inactivity on from-scratch building works, building stakeholders have in front of them an opportunity with the new market niche consisting of the rehabilitation of existing buildings.

In Spain, currently almost 55% of the existent building park is prior to 1980 and 21% is more than 50 years old (Ministry for the Ecological Transition). Until 2006, there was not regulatory framework that considers aspects related to energy saving and efficiency in buildings. It would be the Technical Building Code (CTE) the first one that collects such requirements. This supposes that in almost the 58% of the buildings in Spain have not been applied any kind of regulation related to the energy efficiency (Ministry for the Ecological Transition).

In Europe, the 40% of the final energy consumption corresponds to buildings (Ministry for the Ecological Transition). For this reason, regulatory measures and strategic plans are also being articulated seeking the reduction of energy consumption, in addition to the use of renewable energy in the field of buildings. Among the different strategic plans of the European Union, the Horizon 2020 highlights, with energy saving and energy efficiency measures in buildings. In particular, it collects measures described for non-residential buildings, which demand a larger amount of energy.

In the development of requirements to reduce energy consumption through scientific knowledge, most of the strategies are focused on predicting energy performance in buildings. These are carried out through simulations or using tables and formulas that establish patterns of user behavior, leaving the user out of the whole process. The anthropogenic activity is the main cause of energy consumption and emission generation related to buildings. Besides that the environmental problem concerns the human being, in building issues the user should be an active participant. Therefore, the user has to be allowed and encouraged to suggest amendments solutions despite it implies the approaching to other

nes o de la utilización de tablas y fórmulas para fijar los patrones de comportamiento del usuario, lo cual deja al margen su participación real. El usuario, a pesar de ser parte activa, se suele dejar fuera de todo el proceso. La actividad antropogénica es la principal causante del consumo energético y de la generación de emisiones asociadas al edificio. Al igual que el problema medioambiental concierne al ser humano, en lo relativo al edificio también debería hacerse partícipe activo al usuario. Por ello, se insta a implicarlo en la búsqueda de soluciones, aunque para ello haya que recurrir a otras disciplinas cercanas a la realidad y la experiencia de la persona, tal que permita su participación de forma proactiva en la búsqueda de su confort y el cumplimiento de las exigencias relativas a la eficiencia energética del edificio.

El enfoque: el edificio no residencial

La elección en este trabajo de aproximar el enfoque a edificios terciarios, o con uso de oficinas o similar, obedece a unas razones muy claras: el edificio de oficinas es un gran consumidor de energía, para dar respuesta al confort de todas las personas que ocupan un puesto dentro de él. En este tipo de edificios los mayores gastos se producen en los sistemas de aire acondicionado (HVAC) e iluminación.

Pese a que en España existen muchos edificios anteriores al nacimiento de normativas en materia de energía en edificios (previo a la NBE CT-79), según datos extraídos del Instituto Nacional de Estadística español, el 30% de los edificios de oficinas fue construido tras la entrada en vigor del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y el 55% tras el Código Técnico de la Edificación (CTE) (Gobierno de España, 2006). De esta forma, se puede observar que una gran proporción de edificios de oficinas no necesitan rehabilitación energética, y disponen de instalaciones muy recientes. Así para mejorar la eficiencia energética, una de las soluciones factibles es intervenir sobre el consumo de sus instalaciones a través de la temperatura de consigna (Sánchez-García et al., 2017). Por tanto, sea el edificio previo a normativa o no, se constata la importancia de afinar en la consecución del confort interior de los espacios de forma más precisa y ajustada.

A diferencia de la vivienda (en la que el usuario es el responsable de su consumo y se ve afectado directamente por el coste económico del mismo), en el lugar de trabajo el usuario no sólo no está implicado en la gestión energética del edificio, sino que al no afectar a su economía particular, puede no ser consciente del consumo que supone, energético y económico, además del coste medioambiental asociado (Cuervo, 2017). Además, existen ya muchas ayudas, incentivos y Programas, además de una normativa nacional más desarrollada en materia de vivienda, tanto de obra nueva como de rehabilitación de viviendas existentes. Para edificios no residenciales, dada la diversidad tipológica y la difícil adaptabilidad

disciplinas close to the reality and experience of the user, which allow their participation proactively, seeking their comfort and the accomplishment of requirements on building energy efficiency.

The approach: the non-residential building

The choice in this work of approaching to tertiary buildings, offices or similar, is due to very clear reasons: the office building is a great consumer of energy, to respond to the comfort of all the people who occupy it. In this type of buildings, the highest expenses occur in air conditioning (HVAC) and lighting systems. Although in Spain there are many buildings before the rising of building energy regulations (prior to NBE CT-79), according to data extracted from the Spanish National Statistics Institute, a 30% of office buildings were built after the entry into force of the Regulation of Thermal Installations in Buildings (RITE) and 55% after the Technical Building Code (CTE) (Government of Spain, 2006). In this way, it can be seen that a large proportion of office buildings does not need energy rehabilitation, and have very recent facilities. Thus, to improve energy efficiency, one of the feasible solutions is to intervene on the consumption of their facilities through the setpoint temperature (Sánchez-García et al., 2017). Therefore, whether the building is prior to regulations or not, the importance of refining in achieving the internal comfort of spaces in a more precise and adjusted way is confirmed.

Unlike the housing (in which the user is responsible for its consumption and is directly affected by its economic cost), in the workplace the user is not only not involved in the energy management of the building, but also, since it does not affect their particular economy, they may not be aware of its consumption, in terms of energy and economy, in addition to the associated environmental cost (Cuervo, 2017). In addition, there are already many grants, incentives and programs, in addition to a more developed national regulation on housing, both new construction and rehabilitation of existing housing. For non-residential buildings, given the typological diversity and the difficult adaptability to the new standards of energy efficiency and promotion of renewable energies, it seems interesting to focus on this problem the attention to give a solution. However, according to the Institute for Energy Diversification and Saving (IDAE), in 2015, households constituted 18.5% of the national final energy consumption, behind industry and transport, while tertiary buildings follow with 12.5%, not negligible (IDAE, 2017).

In the case of existing buildings, especially those belonging to the Public Administration, and some with a certain degree of patrimonial protection and therefore do not comply with national regulations, several interests also come together to work on user participation. On the one hand, greater need for user awareness to establish energy saving and efficient

a los nuevos estándares de eficiencia energética y fomento de energías renovables, parece interesante enfocar en este problema la atención para darle una solución. No obstante, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), en 2015 los hogares constituían un 18'5% del consumo de energía final nacional, por detrás de industria y transporte, mientras que los edificios terciarios le siguen con un 12'5%, nada desdeñable (IDAE, 2017).

En el caso de edificios ya existentes, en especial aquellos pertenecientes a la Administración Pública, y algunos con cierto grado de protección patrimonial y que por tanto no se ajustan a normativa nacional, confluyen además varios intereses para trabajar la participación de usuario. Por un lado, mayor necesidad de concienciación del usuario en la necesidad de establecer estrategias de ahorro y eficiencia energéticas cuando los costes derivados de consumos energéticos se sufragan con dinero público, incidiendo además en las consecuencias medioambientales, como el cambio climático o la escasez de recursos naturales. Por otra parte, estos edificios y sus gestores deben asumir el rol ejemplarizante de la aplicación de estas estrategias de eficiencia, ante la sociedad a la que dan servicio, tal y como establece la Directiva Europea 2017/27/UE (DOUE, 2012). Además, en este tipo de edificios el usuario no suele tener capacidad real para modificar su confort, o lograrlo, incluso cuando el edificio es inteligente y permite su participación, puesto que en ocasiones puede ser por una cuestión de falta de formación (Cuerdo, 2017).

Por último, a diferencia de las viviendas, en la que la unidad familiar decide el consumo energético y económico bajo su propia titularidad, los edificios no residenciales son gestionados por representantes de la titularidad, pero se ven afectados por un sumatorio de actuaciones individuales que pueden ser más o menos consideradas, conscientes, estar más o menos formadas, o tener más o menos acceso a la adaptación del ambiente interior para lograr condiciones de confort.

Un entorno para obtener datos, a la vez que trabajar el compromiso personal y colectivo

En este trabajo se propone una herramienta a través de un prototipo App móvil para permitir la participación proactiva del usuario. Para su creación, se utiliza el conocimiento científico generado en la investigación llevada a cabo en el centro de trabajo Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (en adelante el IETcc-CSIC). Este centro de trabajo es un espacio singular dedicado a la investigación de carácter público.

Con este tipo de entornos creados para el intercambio de información usuario-usuario y usuario-decisores y gestores, se consigue por un lado obte-

cy strategies when the costs derived from energy consumption are borne by public money, also affecting environmental consequences, such as climate change or scarcity of natural resources. On the other hand, these buildings and their managers must assume the exemplary role of applying these efficiency strategies, in front of the society they serve, as established by European Directive 2017/27 / EU (DOUE, 2012). In addition, in this type of buildings the user does not usually have real capacity to modify their comfort, or achieve it, even when the building is intelligent and allows their participation, since sometimes it may be due to a lack of training (Cuerdo, 2017). Finally, unlike housing, in which the family unit decides on energy and economic consumption under its own ownership, non-residential buildings are managed by representatives of this ownership, but are affected by a sum of individual actions that can be more or less considered, aware, be more or less trained, or have more or less access to the adaptation of the interior environment to achieve comfort conditions.

An environment to obtain data, while working on personal and collective commitment

In this work, a tool is proposed through a mobile App prototype to allow the proactive participation of the user. For its creation, the scientific knowledge generated in the research carried out in the Eduardo Torroja Institute of Construction Sciences work center, belonging to the Spanish National Research Council (hereinafter IETcc-CSIC) is used. This work center is a unique space dedicated to public research. With this type of environment created for the exchange of user-user and user-decision makers and managers information, it is possible on the one hand to obtain individual information of great value, in addition to exchanging content, ideas and other materials to build a group cohesion around the issue in question (comfort and critical awareness in collaborative energy management), using as corporate elements the institutional culture, intrinsic motivation, building singularities, all in a fun, respectful and safe environment. Indeed, in this virtual environment, which, as Huizinga said about playful environments, the so-called magic circle (Huizinga, 1938), time acquires a relative dimension, and there is no pressure to lose, to make mistakes and try again, or be judged. In it you learn to develop skills, many of them unthinkable in reality, without fear of negative effects or frustration. Hence the convenience of using game elements and techniques through Gamification, and more specifically, designing a mobile App.

2. Background. The case study of IETcc-CSIC

The main building where the IETcc is located is unique because of multiple issues. Firstly, it was built in the 50s, with a certain level of patrimonial protection,

ner información individual de gran valor, además de intercambiar contenidos, ideas y otros materiales para construir una cohesión grupal en torno al tema en cuestión (el confort y la conciencia crítica en la gestión energética colaborativa), utilizando como elementos cohesionantes la cultura corporativa, la motivación intrínseca, las singularidades del edificio, todo ello en un entorno divertido, respetuoso y seguro. En efecto, en este entorno virtual, que como decía Huizinga sobre los entornos lúdicos, el denominado círculo mágico (Huizinga, 1938), el tiempo adquiere una dimensión relativa, y no existe la presión por perder, por equivocarse y volver a intentarlo, o a ser juzgados. En él se aprende a desarrollar habilidades, muchas de ellas impensables en la realidad, sin temor a los efectos negativos o la frustración. De ahí la conveniencia de utilizar elementos y técnicas de juego mediante la Gamificación, y más concretamente, diseñar una App móvil.

2. Antecedentes. El caso de estudio del IETcc-CSIC

El edificio principal donde se ubica el IETcc es singular por múltiples cuestiones. En primer lugar, se trata de un edificio construido en los años 50, con cierto grado de protección patrimonial, y pertenece a la Administración Pública. Sus usuarios habituales son especialistas investigadores en construcción, y en cierta proporción estudian el edificio, y algunos, además, en cuestiones energéticas y de confort. Paradójicamente, esto no les hace revelarse más confortables en el espacio que habitan a diario para ejercer su actividad investigadora. De hecho, el edificio, que en su día fuera un ejemplo de aplicación técnica y constructiva puntero, como resultado del esfuerzo conjunto de un grupo multidisciplinar de profesionales en contacto directo con referentes a nivel mundial en este campo, ha ido envejeciendo, y, como ocurre en tantos ejemplos de edificios de gestión pública, y más en su caso con cierto grado de protección, resulta complicado dar una respuesta actualizada para asegurar el confort interior esperable. Problemas derivados de la propia construcción y de su "edad", como puentes térmicos, infiltraciones en fachada, o disconfort en los despachos y espacios amplios de trabajo (naves, talleres o laboratorios), son algunas de las razones que ya empezaban a ser bien conocidas en el ambiente de trabajo. No obstante, ningún estudio previo lo había constatado de forma gráfica, ni se había registrado antes el malestar general de sus usuarios, menos aún los pormenores atribuibles a cada uno de los espacios por separado; el día a día habitando estos espacios hacían al edificio claro candidato para el estudio.

En este edificio actualmente trabajan unos doscientos trabajadores, con un horario algo variable, siendo mayoritariamente horario intensivo, de 7 a 17 horas, aunque debido a ensayos y otros trabajos este horario puede prolongarse, así como tener unas condiciones ambientales diferentes a las comúnmente



Figura 1. Edificio principal del IETcc-CSIC (Madrid) y entorno inmediato. Fuente: archivos IETcc-CSIC, foto tomada pocos años después de su inauguración, en la década de los 50.

and belongs to the Public Administration. Its users are construction research specialists, and in a certain proportion they are building experts, and some, in addition, are familiar with energy and comfort issues. Paradoxically, this does not make them rebel more comfortable in their workplace where they daily develop their research activity.

In fact, the building, which once was an example of a technical and constructive application pointer, as a result of the joint effort of a multidisciplinary group of professionals in direct contact with worldwide references in this field, has been aging, and, as it occurs in so many examples of publicly-managed buildings, and more so with some degree of protection, it is difficult to give an updated response to ensure the expected interior comfort. Problems arising from the construction itself and its "age", such as thermal bridges, infiltration through the facade, or discomfort in offices and large workspaces (warehouses, workshops or laboratories), are some of the reasons that were already beginning to be good known in the work environment. However, no previous study had found it graphically, nor had the general malaise of its users been registered before, let alone the details attributable to each of the spaces separately; the day-to-day living in these spaces made the building a clear candidate for the study. There are about two hundred people working in this building, with a mostly schedule from 7 to 17 hours, although due to tests and other tasks this schedule can be prolonged, as well as having different environmental conditions to those commonly established.

Preliminary study

In the investigation carried out in the IETcc-CSIC, a first analysis of the perception of comfort by the users of the building was performed. For this, a qualitative technique called Photovoice was used, which revealed the impressions of its participants (sixteen, located in different parts of the building) through images and experiences and personal stories, which allowed them who participated in the study to detect the problems related to comfort and inefficient work space management (Cuervo, 2017). Through a series of collective sessions, the hierarchy of detected shortcomings, the categorization of the images, and the proposals for improvement emerged to solve such problems, while creating critical

establecidas.

El estudio preliminar

En la investigación realizada en el IETcc-CSIC, se realizó un primer análisis de la percepción del confort por parte de los usuarios del edificio. Para ello, se utilizó una técnica cualitativa denominada Photovoice, que revelaban las impresiones de sus participantes (dieciséis, ubicados en diferentes partes del edificio) mediante imágenes y experiencias e historias personales, que permitió a los usuarios que participaron en el estudio detectar los problemas relacionados con el confort y la gestión ineficiente del espacio de trabajo (Cuerdo, 2017). Mediante una serie de sesiones conjuntas, se trabajaba la jerarquización de carencias detectadas, la categorización de las imágenes, y las propuestas de mejora para solventar tales problemas, a la vez que se creaba conciencia crítica, espíritu reflexivo, y compromiso personal y de grupo sobre la responsabilidad del usuario y del colectivo en su papel activo en la gestión energética del edificio. La información del método, aplicación y resultados, objeto de una tesis doctoral leída en 2017 (Cuerdo, 2017), puede consultarse en otra comunicación para este Congreso (Cuerdo-Vilches & Navas-Martin, 2019).

Con la información recopilada del grupo inicial y los principales problemas resaltados, así como con el mismo espíritu de trabajar ya con toda la masa crítica (no sólo con una muestra pequeña) en un entorno seguro (en este caso virtual), tanto el comportamiento y responsabilidad individuales como la responsabilidad, compromiso y empoderamiento como miembros de la colectividad, se diseñó el prototipo App móvil, que posibilitara la participación activa de los usuarios.

3. Objetivos

El objetivo principal es implicar al usuario en la eficiencia energética del edificio y la gestión del confort en su espacio de trabajo. Los objetivos secundarios son: la búsqueda de información relacionada con la experiencia del usuario en el edificio y su participación activa en la gestión ambiental del mismo. Asimismo, se persigue el empoderamiento del usuario para lograr una gestión colaborativa, originando la figura del usuario co-gestor. Además, estas acciones relativas al usuario van a facilitar la creación de estrategias corporativas dirigidas a la eficiencia energética en la institución, lo cual persigue la sostenibilidad de la gestión a lo largo del tiempo.

4. Marco metodológico

Para el análisis anterior al diseño del prototipo App móvil, se utilizó un marco metodológico que permitiera conocer la percepción del usuario. Para ello se realizó un análisis cualitativo previo, utilizando la técnica cualitativa conocida como Photovoice. El mé-

awareness, reflective spirit, and personal and group commitment on the responsibility both of the user and the group in their active role in the energy management of the building. The information on the method, application and results, object of a doctoral thesis read in 2017 (Cuerdo, 2017), can be consulted in another communication for this Congress (Cuerdo-Vilches & Navas-Martin, 2019). With the information collected from the initial group and the main problems highlighted, as well as with the same spirit of working with all the critical mass (not only with a small sample) in a safe environment (in this virtual case), both the behavior and Individual responsibility such as responsibility, commitment and empowerment as members of the community, the mobile App prototype was designed to enable the active participation of users.

3. Objectives

The main objective was to involve the user in the building energy efficiency as well as into the comfort management for their workplace. The secondary objectives are: the search of information related to the user's building experience and their active participation in its environmental management. Likewise, the user empowerment in the collaborative management is pursued, originating the figure of the user as co-manager. In addition, these actions led to the user provide the origin of corporate strategies on energy efficiency to the own institution, that allows the management sustainability over time.

3. Methodological framework

For the analysis prior to the design of the Mobile App prototype, a methodological framework was used that allowed knowing the user perception. A previous qualitative analysis was carried out to reach it, using the qualitative technique known as Photovoice. The Photovoice method consists of obtaining information about a specific problem through photographs and personal testimonies of the participants. The main characteristic of this research technique is that in addition to finding the shortcomings, it is also the participants themselves who propose solutions to the problems detected (Cuerdo, 2017).

The advantage of obtaining subjective information from the user is that it allows detecting the needs, deficiencies, weak points and strengths that otherwise would not be known.

The strategy proposed to achieve the collaborative management of building energy, with the user participation as a novelty against the known state-of-art, is nourished by a series of concepts and elements related to both the built space and the corporate institution. This reinforces the idea of the user as part of a whole, and positions them in a leading, responsible, and participatory role. Boosting these qualities properly, the marked objectives can be achieved (see

todo Photovoice consiste en obtener información sobre un problema en concreto a través de fotografías y testimonios personales de los participantes. La principal característica de esta técnica de investigación es que además de encontrar las carencias, también son los propios participantes los que proponen soluciones a los problemas detectados (Cuervo, 2017).

La ventaja de obtener información subjetiva del usuario reside en la fácil detección de necesidades, carencias, puntos débiles y fortalezas que de otra forma no serían conocidas.

La estrategia planteada para lograr la gestión colaborativa de la energía del edificio, con la participación del usuario como novedad frente al estado de la cuestión, se nutre de una serie de conceptos y elementos relacionados tanto con el espacio construido, como con la institución corporativa. Esto refuerza la idea del usuario como parte del todo, y lo posiciona en un papel protagonista, responsable, y participativo. Potenciando estas cualidades apropiadamente, se pueden lograr los objetivos marcados (ver figura 2).

En esta fase de diseño del prototipo App móvil, además de toda la información recopilada y analizada en la fase previa, se diseñó una herramienta basada en la gamificación para implementarla en el prototipo.

Según Werbach y Hunter, la gamificación se define como "el uso de elementos de juegos y técnicas de diseño de juegos en contextos que no son de juegos (Werbach & Hunter, 2014, p. 28). La gamificación se basa, por lo tanto, en el uso de técnicas de diseño de juego aplicada a contextos no lúdicos (Werbach & Hunter, 2014).

En gamificación existen tres categorías de elementos de juego: dinámicas, mecánicas y componentes.

figure 2).

During this design phase for the Mobile App-prototype, in addition to all the information collected and analyzed in the previous phase, a gamification strategy was designed to be implemented in the prototype.

According to Werbach and Hunter, we can define gamification as "the use of game elements and game design techniques in non-game contexts" (Werbach & Hunter, 2014, p.28). Gamification is based, therefore, in the use of game design techniques that work in contexts that are not ludic (Werbach & Hunter, 2014).

In gamification there are three categories of game elements: dynamics, mechanics and components. All the game elements form a hierarchy, as shown in Figure 3.

Gamification as a tool uses elements and game components to achieve an aim beyond the ludic one. Indeed, it uses them to take advantage from the attraction and recurrence powers, among others, that games involves for the human being, which Huizinga would already say in his work *Homo Ludens* (1938), man is a ludic being even before than a social and cultural one.

But to establish a tool that motivates and promotes the building- user active participation, not only resort to this kind of techniques or strategies from Design Thinking, but also you to others related to Psychology. Among them we find the theory of Self-Determination (TSD), that boosts the bonding between user and their institution, the built environment and its singularities, as well as with the building managers.

The TSD is a theory on personality and human motivation that deals with the inherent tendencies of

ESTRATEGIA DE GESTIÓN COLABORATIVA.



Figura 2.
Estrategia de gestión colaborativa. Fuente: elaboración propia, 2018.

Figura 3. Jerarquía de elementos de juego. Fuente: Werbach & Hunter (2014).

Todos los elementos del juego forman una jerarquía, como se muestra en la figura 3.

La gamificación como herramienta utiliza elementos y componentes de juego para lograr un fin más allá de la cuestión lúdica. Lo emplea en efecto para beneficiarse de los poderes de atracción y recurrencia, entre otros, que poseen los juegos para el hombre, que como ya afirmaría Huizinga en su obra *Homo Ludens* (1938), es un ser lúdico antes incluso de ser social y cultural.

Pero para establecer una herramienta que motive y promueva la participación activa del usuario del edificio, no sólo se recurre a este tipo de técnicas o estrategias de Design Thinking, sino que se puede recurrir a otras, más ligadas a la Psicología. Entre ellas se encuentra la teoría de la Autodeterminación (TAD), que potencia el vínculo del usuario con la institución corporativa para la que trabaja, con el entorno construido y sus singularidades, así como con los gestores del edificio.

La TAD es una teoría de la motivación humana y la personalidad que trata de las tendencias inherentes del crecimiento personal y de las necesidades psicológicas de las personas. La TAD identifica tres necesidades: la necesidad de ser competente, la de la autonomía, y la de relacionarse. Cuando las necesidades han sido cubiertas, estas permiten el funcionamiento óptimo y el crecimiento de la persona (Ryan & Deci, 2000).

A modo de esquema se muestra el resumen del marco teórico aplicado, los resultados y las acciones esperadas (ver figura 4).

5. El sistema gamificado (Diseño de App móvil).

Para la obtención de la información de los usuarios para cuantificar los inputs, KPIs y los diferentes registros, se utiliza un interfaz gamificado a través de la

JERARQUÍA DE ELEMENTOS DE JUEGO



personal growth and the psychological needs of people. The TSD identifies three needs: the need to be competent, the need for autonomy, and the need to relate. When the needs have been met they allow optimal functioning and personal growth (Ryan & Deci, 2000).

As a diagram, the summary of the theoretical framework applied, the results and the expected actions are shown (see figure 4).

5. The gamified system (Mobile App Design)

To obtain the user information and quantify the inputs, KPIs and the different registers, a gamified interface is used through the Mobile App. For the gamified strategy, game techniques are used that allow the interaction with the mobile App resulting as attractive as possible. It is advisable to use a friendly interface to facilitate its use. Besides, while developing strategies, it is convenient to save user's barriers and reluctance to participate in this type of activity. Below, the strategy to reach the user approach is schemed. This scheme, see figure 5, is based on the theoretical frameworks of motivation, critical awareness, responsibility and the results expected from users, expressed as actions related to the building and the organization, in addition to the habit change expected for efficient management of building activity.

MARCO TEÓRICO Y RESULTADOS ESPERADOS.



Figura 4. Esquema-Resumen: Marco teórico, resultados y acciones esperadas. Fuente: elaboración propia, 2018.

App móvil. En el desarrollo de la estrategia gamificada, se emplean técnicas de juego que permitan que la interacción con la App móvil sea lo más atractiva posible. Es recomendable utilizar un interfaz amigable para facilitar su uso. Además, en el desarrollo de estas estrategias, hay que salvar las barreras y reticencias del usuario por participar en este tipo de actividades. A continuación se detalla el esquema estratégico para el acercamiento al usuario. Este esquema (ver figura 5), está basado en los marcos teóricos de la motivación, la conciencia crítica, la responsabilidad, y los resultados esperados por parte de los usuarios, expresados como acciones relacionadas con el edificio y la organización, además del cambio de hábito esperado para la gestión eficiente de actividad del edificio.

6. Mockup del prototipo App móvil.

A través del mockup es posible visualizar el prototipo de la aplicación móvil. En este modelo se implementan y configuran visualmente todas las funcionalidades diseñadas. Con el diseño se puede conocer el esquema de intercambio de información entre los usuarios y la organización de forma bidireccional. La comunicación bidireccional es un componente clave para el diseño, pues además del reporte de información que se obtiene por parte los usuarios, como, por ejemplo, los problemas de confort en el espacio de trabajo, también sirve para fomentar el compromiso (engagement) y su recurrencia a través de mecánicas y dinámicas de la propia App, como pueden ser competiciones, retos o valoraciones de algunas cuestiones, entre otras.

Su implementación permitirá una mayor capacitación del usuario, adquiriendo conocimientos y capacidades en materia relacionada con el edificio. Unido a la interacción con otros usuarios, se conseguirá un mayor compromiso con el edificio y su espacio de trabajo, además de favorecer el sentimiento de pertenencia y un mayor compromiso corporativo.

6. Mockup of the mobile App prototype

Through the mockup, we can see the mobile application prototype. In this model, all the main functionalities are implemented and visually configured. This design display allows to visualize the scheme of information exchange among users and the organization in a bidirectional way. Communication and feedback are key concepts for design, due to, as well as the information report generated by users, such as, for example, comfort problems in the workplace, It also seeks to encourage commitment (engagement) and its recurrence through mechanics and dynamics from the App, such as: competitions, challenges or scoring to issues, among others.

Its implementation will allow a better user training, acquiring knowledge and skills related to the building. Together with other user's interaction, a greater commitment with the building activity and its workspace will be achieved, as well as promoting a sense of belonging and also a greater corporation commitment.

7. Application to mixed methods for intelligent buildings

The Mobile App prototype would allow, through different technologies, the monitoring of environmental data both internal and external, as well as the user positioning inside the building. For instance, using the Internet of Things technology (IoT) information would be collected. Besides, with Indoor Positioning Systems (IPS), user positioning indoor would be known, as examples of disposable technologies. Also, this App allows collecting the information generated by users. The combination of those data collection processes allow to apply a mixed system, crossing the objective data collected by devices with the subjective data supplied by users.

ESQUEMA DEL SISTEMA GAMIFICADO



Figura 5. Esquema del Sistema Gamificado. Fuente: elaboración propia, 2018.



Figura 6. Secuencia de algunas pantallas pertenecientes al mockup de la App móvil gamificada. Fuente: elaboración propia, 2018.

7. Aplicación en métodos mixtos para edificios inteligentes

El prototipo App móvil posibilitaría, a través de las distintas tecnologías, la monitorización de datos medioambientales tanto internos como externos, así como el posicionamiento del usuario en el interior del edificio. Por ejemplo, utilizando la tecnología del Internet de las cosas, en su denominación en inglés Internet of Things (IoT) se produciría la recogida de información. Análogamente, con los sistemas de posicionamiento en interiores, en su denominación en inglés Indoor Positioning System (IPS), se conocería en tiempo real la localización del usuario, por citar algunas tecnologías disponibles. Asimismo, con el uso de la App se posibilita la recogida de información originada por el propio usuario. La combinación de estos procesos de recogida de datos permitiría a su vez aplicar un sistema mixto, cruzando los datos objetivos recogidos por los dispositivos con los datos subjetivos aportados por los propios usuarios.

Además, el conjunto de datos generado se puede almacenar para su posterior análisis y tratamiento a través de la computación en la nube, mediante una arquitectura cliente-servidor, siendo el dispositivo Smartphone del usuario el denominado "cliente", que a través de una conexión de Internet, se conectaría con el servidor para compartir los datos.

8. Resultados y discusión

A través del análisis del trabajo previo cualitativo, se establecen las directrices para el diseño del prototipo App móvil. Estas directrices obtenidas son por un lado, la relación entre el usuario y su espacio de trabajo, y por otro lado, las relaciones del usuario con otros usuarios, es decir, con los compañeros de trabajo, además de los gestores del edificio, y con sus superiores directos.

Para aplicar este tipo de herramientas, es primordial tener en cuenta la peculiaridad de cada edificio y su relación con los trabajadores. Esto lleva a realizar una estrategia del tipo "tailor-made", pues cada edificio suele contar con diversas singularidades, y no todas las relaciones usuario-edificio son iguales, así como

In addition, the data set can be stored for later analysis and processing through cloud computing, through a client-server architecture, with the user's Smartphone as the "client", which, may connect with the server through an Internet connection to share the data.

8. Results and discussion

The analysis of the qualitative previous work allowed to establish the guidelines for the Mobile App prototype. The guidelines obtained are, on the one hand, the relationship between the user and their workplace, and on the other hand, the users' relationships among them, that is, with colleagues, in addition to managers and their bosses.

To apply this kind of tools, it is important to take into account the peculiarity of each building and its relationship with workers. This leads to a "tailor-made" strategy, since each building has certain singularities, and the relationships among users, and those related to the building, their peers or bosses, could be different. Therefore, to bear in mind that the strategies have to be endorsed or agreed by the building managers, which will prevent reluctances or discomfort among workers, thinking of potential retaliation due to their participation in those actions. Finally, to achieve success with these strategies, it is relevant to plan the tasks to identify how users interact and play, through a continuous feedback about the needs and preferences of each user.

9. Conclusions

Within the study of Energy Saving and Efficiency Measures, user can be considered as an extraordinary "multisensor", and not as an uncontrolled and unpredictable element. Through this idea, it is possible to design strategies to obtain information on preferences and needs, encouraging community work, proactive behavior and collaborative management related to building issues. The user can be skilled using training strategies in energy matters.

To reach a collaborative management, it is useful to include in those strategies design, certain elements

OBTENCIÓN DE DATOS PARA ANÁLISIS Y TRATAMIENTO EN MÉTODOS MIXTOS.

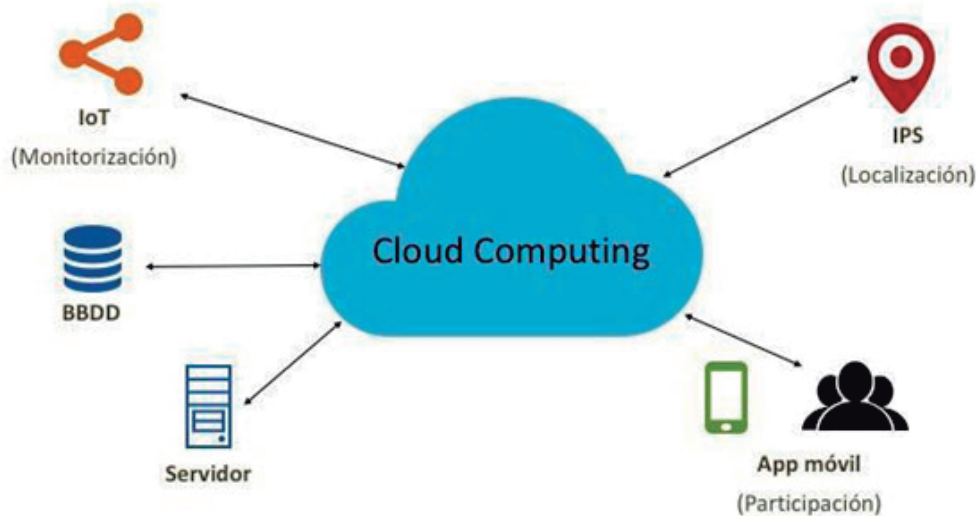


Figura 7. Esquema de obtención de datos para posterior análisis y tratamiento (métodos mixtos). Fuente: elaboración propia, 2018.

con respecto a sus compañeros o superiores. Por esta razón, es igualmente importante tener en cuenta que las estrategias tienen que estar avaladas o acordadas por los gestores del edificio, lo que evitará reticencias o malestar entre los trabajadores, ante posibles represalias de sus superiores por participar en estas iniciativas. Por último, para lograr el éxito con estas estrategias, hay que planificar las tareas para identificar cómo los usuarios interactúan y juegan, a través de una continua retroalimentación de las necesidades y preferencias de cada usuario.

9. Conclusiones

En el estudio y la aplicación de medidas relacionadas con el Ahorro y Eficiencia energéticos, se puede considerar al usuario como un "multisensor" extraordinario, y no como un elemento incontrolado e imprevisible. A partir de esta idea, es posible diseñar estrategias que permitan conseguir información acerca de sus preferencias y necesidades, a la vez que fomentan el trabajo comunitario, el comportamiento proactivo y la gestión colaborativa en cuestiones relacionadas con el edificio. Asimismo, se puede capacitar al usuario utilizando para ello estrategias formativas en materia energética.

Para conseguir la gestión colaborativa, resulta de gran utilidad además incluir en el diseño de estas estrategias elementos basados en el conocimiento de la cultura corporativa por parte de los trabajadores, para fomentar un mayor compromiso del trabajador con respecto a su espacio de trabajo. Si estos elementos se incluyen en los diseños de herramientas basadas en teorías motivacionales y otras como la gamificación, existen más posibilidades de lograr de forma exitosa los objetivos de participación activa y gestión colaborativa del usuario con respecto al edificio y su actividad diaria.

based on the corporative-culture knowledge, to promote a greater worker commitment with respect to the workplace. If those elements are included in the tools, based on SDT and gamification theories, it exists more possibilities of success in reaching the active participation and user collaborative management as aims, related to building and its daily activity.

It is relevant and precise to act on that critical mass of people united in a group, individually and collectively, so that their efforts, responsibility and commitment to the building go in the same direction, building critical collective awareness (if possible motivated and in a fun way, "far" from the pressure of the work environment) through the feeling of belonging to the group. Knowing their real individual and group needs can be decisive for managers when making decisions that can sometimes be even simple, such as relocating and grouping people with similar needs, or according to the areas of the building, and undertaking rehabilitation actions. according to the problems detected, which otherwise might have gone unnoticed on a small scale. Having such detailed information, and in a massive way (with information from the majority of users) about the building, can result in much more adjusted, more necessary, and more urgent technical decisions, even faster or cheaper at times, that other more standard measures such as those derived from Energy Audits that involve the hiring of qualified professionals and therefore are longer and more expensive, without often reaching such levels of detail. Both vertical and horizontal communication between the institutional hierarchy and among the users themselves is essential to ensure that energy management is collaborative and really reaches the desired level of energy savings and efficiency, and moreover, in an aggregate way, mitigating environmental effects, such as of climate change.

Es relevante y preciso actuar sobre esa masa crítica de personas unidas por un grupo, de forma individual y colectiva, para que sus esfuerzos, responsabilidad y compromiso para con el edificio vayan en la misma dirección, construyendo conciencia colectiva crítica (a ser posible de una forma motivada y divertida, "lejos" de la presión del ambiente laboral) a través del sentimiento de pertenencia al grupo. Conocer sus necesidades reales individuales y grupales puede resultar decisivo para los gestores a la hora de tomar decisiones que en ocasiones podrán ser incluso sencillas, como reubicar y agrupar a personas con necesidades similares, o según las zonas del edificio, y acometer actuaciones de rehabilitación de acuerdo a los problemas detectados, que de otra forma quizás habrían pasado desapercibidos a pequeña escala. Contar con información tan detallada, y de forma masiva (con información de la mayoría de los usuarios) sobre el edificio, puede dar como resultado decisiones técnicas mucho más ajustadas, más necesarias, y más urgentes, inclusive más rápidas o económicas en ocasiones, que otras medidas más estándares como aquellas derivadas de Auditorías Energéticas que implica la contratación de profesionales cualificados y por tanto resultan más largas y más costosas, sin que a menudo lleguen a niveles de detalle tan pormenorizados.

La comunicación tanto vertical entre la jerarquía institucional como horizontal entre los propios usuarios es imprescindible para conseguir que la gestión energética sea colaborativa y alcance realmente el nivel de ahorro y eficiencia energéticos deseados, y de forma agregada, se logre mitigar los efectos medioambientales, como el del cambio climático.

Por último, es una cuestión ineludible para elaborar estrategias de gestión colaborativa como estas, contar con un equipo multidisciplinar, que permita desarrollar las distintas estrategias desde la pluralidad de entendimientos y herramientas y conocimiento disponibles, aplicándolos en favor de la consecución exitosa de los objetivos de gestión y sostenibilidad en el tiempo, marcados por la propia institución.

Finally, it is a "must" to elaborate collaborative management strategies like these, to create a multidisciplinary team to develop the different strategies from the plurality of understandings, tools and knowledge disposable, applying them in favor of successful consecution of management and their sustainability over time, marked by the own institution.

Agradecimientos / Acknowledgements

Al IETcc-CSIC, a todo el personal, en particular a la Dirección y los usuarios que participaron en el estudio de análisis previo. Asimismo, a todas aquellas personas que han permitido enriquecer con su opinión y su ayuda a la contribución de este trabajo.

To the IETcc-CSIC, to all the personnel, in particular to the Direction and the users who participated in the previous analysis study. Likewise, to all those people who have allowed to enrich with their opinion and their help the contribution of this work.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA. (s. f.). Residencial, comercial e institucional. Recuperado 26 de junio de 2019, a partir de <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/edificacion.aspx>.
- [2] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Madrid, España: Imprenta Nacional del Boletín Oficial del Estado, 2006.
- [3] Sánchez-García, D., Rubio-Bellido, C., Marrero-Meléndez, M., Guevara-García, F., & Canivell, J. (2017). El control adaptativo en instalaciones existentes y su potencial en el contexto del cambio climático. *Hábitat Sustentable*, 7(2), 06-17. <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.07.02.01>.
- [4] CUERDO VILCHES, M.T. (2017): "La participación del usuario en la gestión energética de edificios: aplicación del método Photovoice en espacios de trabajo". (Tesis Doctoral Inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [5] Guía del Consumo de Energía en España. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Visto en <http://guiaenergia.idae.es/el-consumo-energia-en-espana/> el 5 de agosto de 2019.
- [6] Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.
- [7] HUIZINGA 1938, J. (1938): "Homo Ludens".
- [8] CUERDO-VILCHES, M.T., NAVAS-MARTIN, M.A. (2019). Gestión energética colaborativa en edificios: aplicación de técnicas de participación del usuario en un edificio singular de Madrid. Congreso EESAP 10-CICA3. Vitoria, septiembre de 2019.
- [9] WERBACH, K., & HUNTER, D. (2014). Gamificación: revoluciona tu negocio con las técnicas de los juegos. Pearson Educación.
- [10] RYAN, R., & DECI, E. L. (2000). La Teoría de la Autodeterminación y la Facilitación de la Motivación Intrínseca, el Desarrollo Social, y el Bienestar. *American Psychologist*, 55(1), 68-78.
- [11] CUERDO-VILCHES, M.T., NAVAS-MARTIN, M.A. (2015): "El empoderamiento del usuario como agente co-gestor ambiental del edificio a través de la gamificación". In Proceedings of the II International congress on sustainable construction and eco-efficient solutions: Seville 25-27 may 2015 (pp. 663-674).
- [12] JOHNSON, D., et al. (2017): "Gamification and serious games within the domain of domestic energy consumption: A systematic review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 249-264.

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.

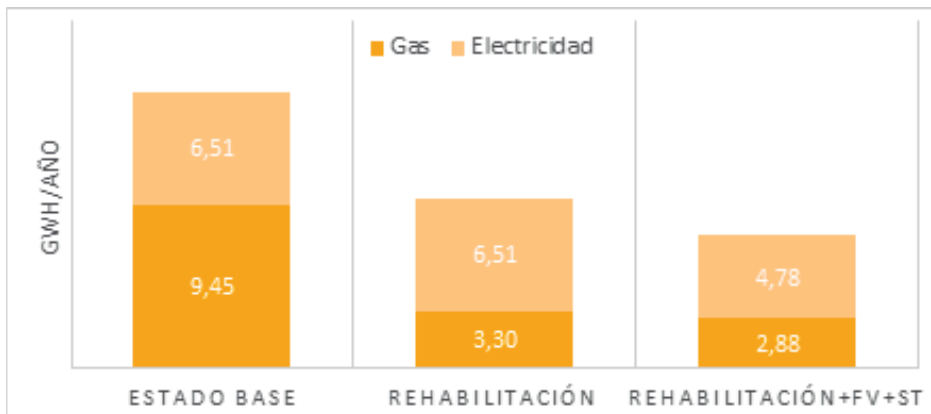


Figura 2. Resultados de los escenarios individuales. (Fuente: Elaboración propia)

- 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

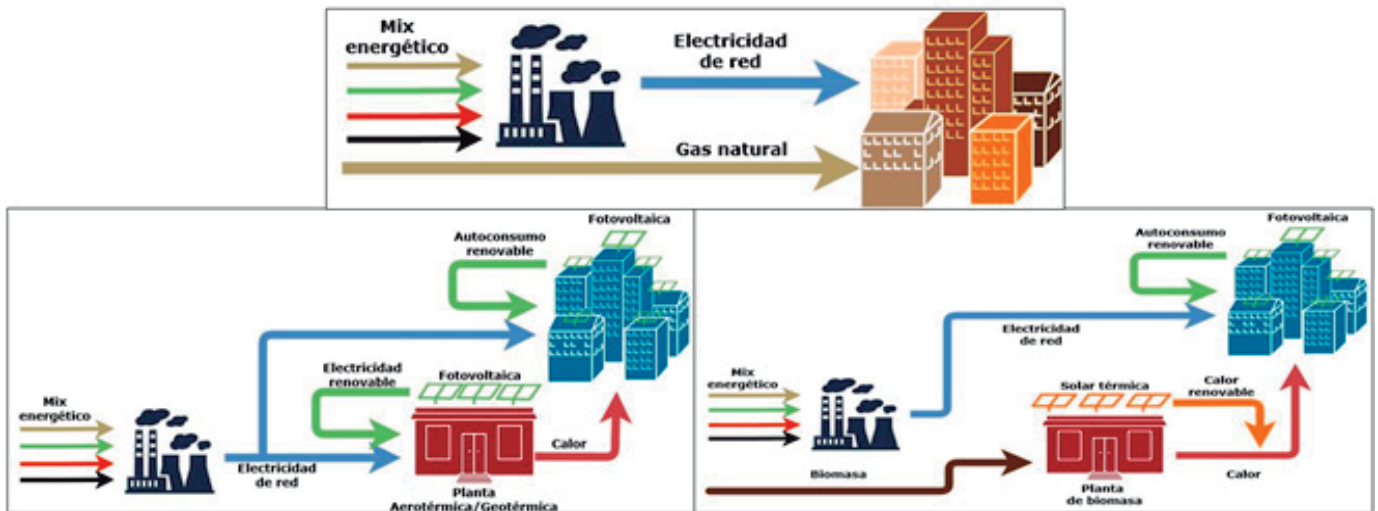


Figura 4. Esquemas del distrito antes (parte superior) y después de las intervenciones (parte inferior). (Fuente: Elaboración propia)

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

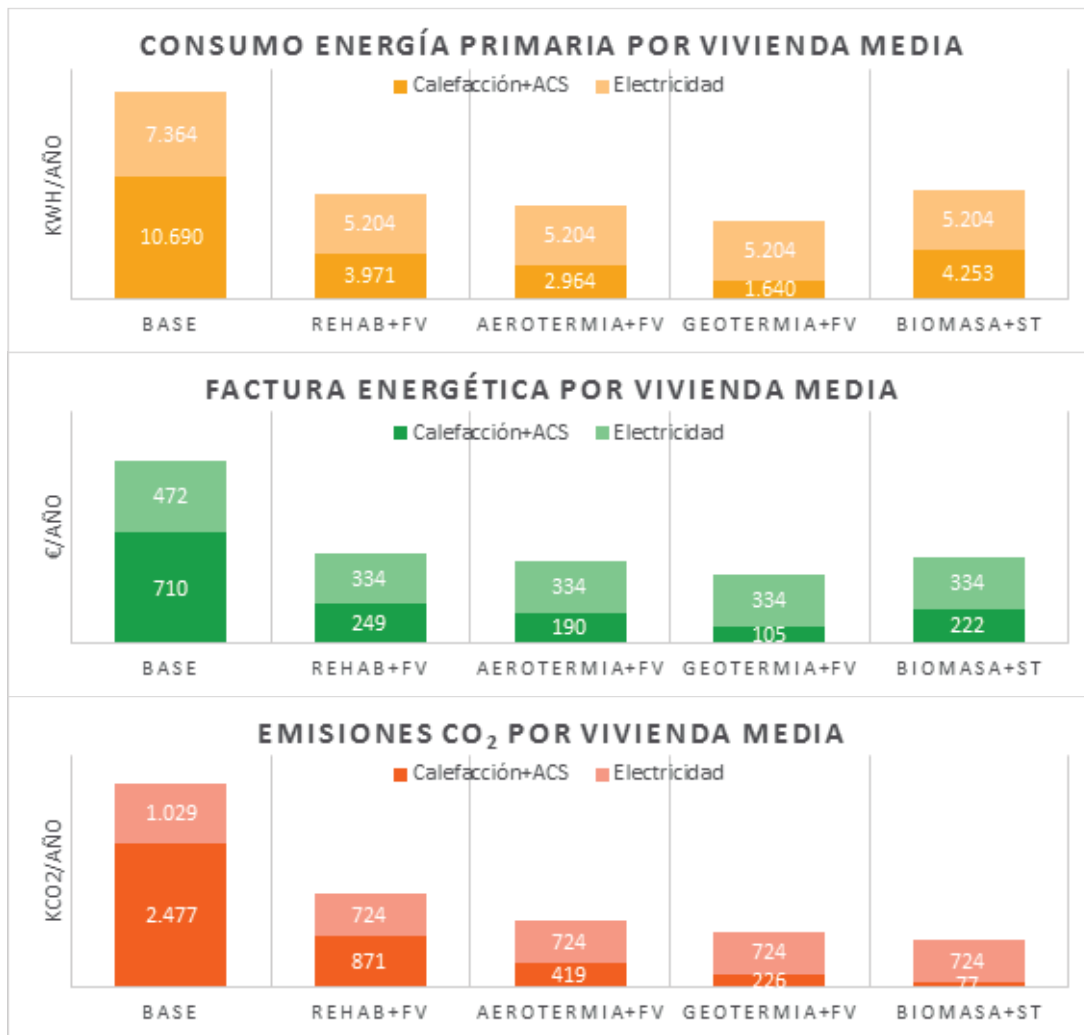


Figura 5. Comparación de los resultados de los escenarios por vivienda. (Fuente: Elaboración propia)

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.

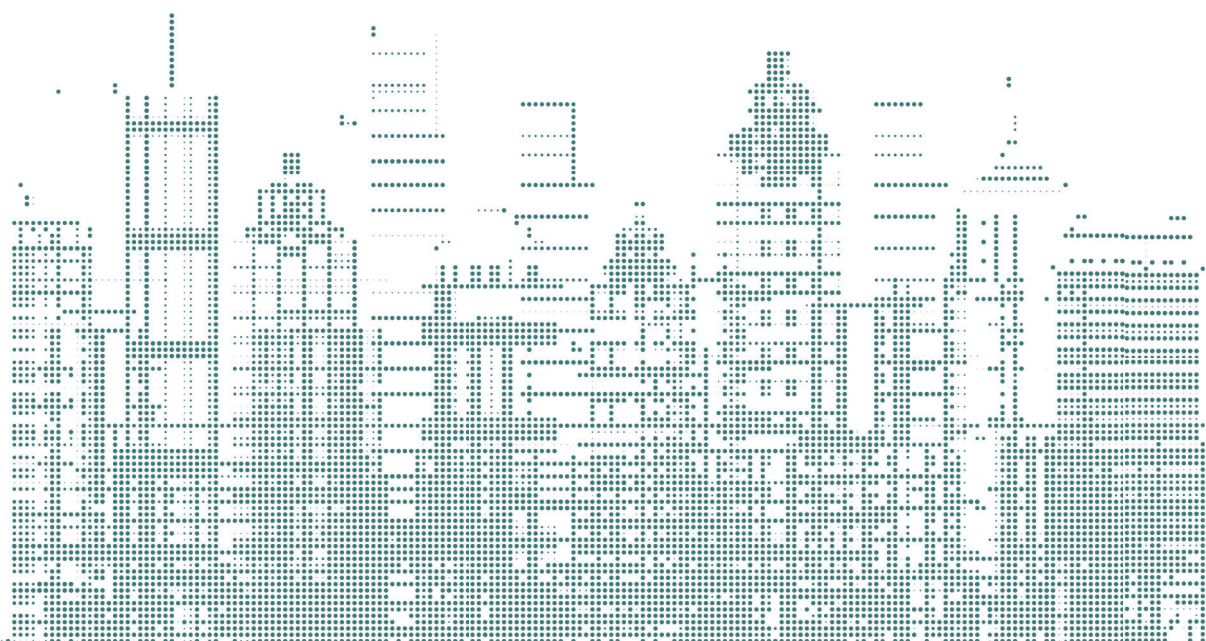
Finally, the approach proposed in the present paper would enable public authorities to boost sustainable urban regeneration, through joint works that would benefit both residential and public buildings, where the public authorities could participate and/or facilitate the economic investment, providing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

Sesión póster

Poster session



TEPEs con sustrato de lana para coberturas vegetales

TEPE Wool-Sedum

Maria Luisa Marcos Contreras¹, Jimena Calleja García¹

ABSTRACT

Sbiorn propone una cubierta vegetal ligera que permita rehabilitar cubiertas planas de forma fácil y práctica, con un aporte de peso moderado y un espesor mínimo de 5 centímetros de sustrato. Su estructura interna la forman capas alternativas de sustrato, drenajes y lana que evita encharcamientos, permite el enraizamiento controlado y una fácil y rápida reparación o sustitución. La lana, combinada con otros componentes, funciona tanto de soporte vital como de aislante térmico, permitiendo la mejora de la eficiencia energética del edificio con un riego mínimo, ofreciendo una solución ecológica y biosostenible sin plásticos a un precio bastante adecuado.

El sistema Lanaland permite dar respuesta a los múltiples requerimientos de una cubierta vegetal a partir de la impermeabilización previa, con tan solo 4 elementos, lana, arcilla expandida, sustrato y sedum. La lana es el elemento diferenciador de este prototipo ya que cumple diversas funciones dentro de la cubierta como son: protección de la impermeabilización tipo geotextil, capa absorbente, confinamiento del drenaje, filtro del sustrato para evitar la saturación del drenaje, capa aislante térmica, y capa bioestimulante por su aportación de nitrógeno para la vegetación.

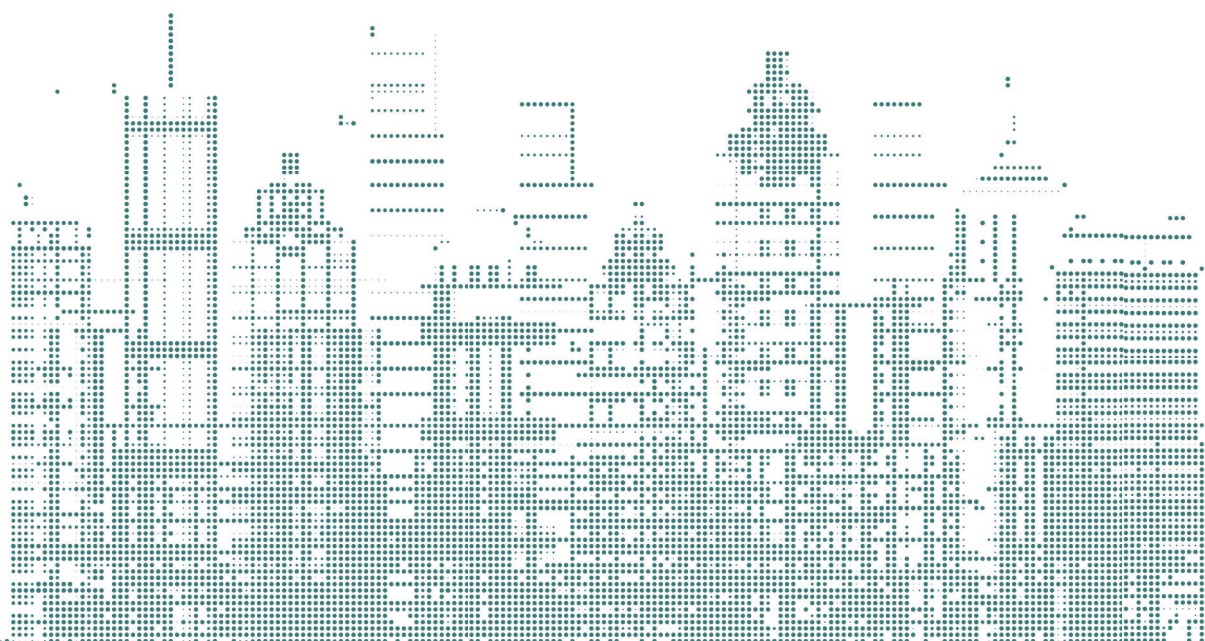
La incorporación de lana de oveja, actualmente considerada un residuo permite la creación de un nuevo elemento un tepe de sedum con propiedades de aislamiento térmico por la colaboración de las raíces del sedum en el interior del fieltro de lana, generando así un nuevo uso de un residuo dentro del marco de la economía circular.

Key Words: Cubiertas, aislante térmico, sedum, lana, eficiencia energética

(1) Sistemas de Biotecnología y Recursos Naturales Sbiorn.S.L.U., C/ Antonio Royo Villanova n5, 47014 Valladolid, +34 622 28 87 23, mmarcos@sbiorn.com

Patrocinadores platino

Platinum sponsors



ÚNETE A LA EXPERIENCIA QUE TE OFRECE
LA TECNOLOGÍA DE ALTA EFICIENCIA.

AIRZONE



Tecnología y diseño:
la perfección está en
el equilibrio.

Los sistemas de climatización Airzone para
todo tipo de edificios y tecnologías.

Con el termostato Airzone Blueface podrás realizar un
control inteligente de una forma sencilla e intuitiva,
aportándole a la estancia un diseño actual y elegante.



Disfruta del control a distancia a través
de la aplicación gratuita Airzone Cloud.
¿Quieres conocerla? Visita la demo en
airzonecloud.com.

airzone.es



Cimentando el futuro



Ayer, hoy y siempre

La madera es uno de los materiales que más ha evolucionado a nivel tecnológico. Hoy es posible edificar estructuras de 30 a 40 plantas realizadas con paneles CLT y fachadas con tratamientos innovadores que permiten garantizar la durabilidad y resistencia al fuego.

Sus certificaciones medioambientales aseguran que estamos ante el producto más sostenible. A diferencia de las edificaciones convencionales construidas con otros materiales, la madera reduce la huella de carbono.

En el stand de **Baskegur** en **EESAPI0 CICA3**, se ha dado a conocer los diversos productos y soluciones constructivas innovadoras que realiza actualmente la industria vasca. También se ha informado al público prescriptor la apuesta por la formación que la asociación desarrolla junto a otros agentes sociales e institucionales.

El "**Máster en estructuras, construcción y diseño en madera**" comienza en el presente curso su segunda edición. Una iniciativa que Baskegur impulsa junto a la Universidad de Arquitectura de la UPV/EHU de Donostia con la ayuda del Departamento de Desarrollo Económico e Infraestructuras del Gobierno Vasco. El máster se une a otras propuestas como la colaboración con el Máster en construcción avanzada de Ingeniería de la UPV/EHU y los cursos de verano en el donostiarra Palacio de Miramar. La presencia en el comité organizador del Foro **EGURTEK** que cada dos años se realiza en el BEC y el apoyo a otros congresos como el "IWC Curso de patrimonio conservado en madera" organizado por ICOMOS en Bilbao y Donostia a desarrollarse en octubre también forman parte de este compromiso.

SOSTENIBLE Y EFICIENTE

El sector forestal madera de Euskadi, de la mano de Baskegur, realiza una apuesta decidida por la sostenibilidad y el cuidado del medio ambiente.

En cuanto a la gestión de las masas forestales impulsando las certificaciones **PEFC** y **FSC** entre sus asociados, que garantizan una explotación de los recursos respetuosa, gracias a la plantación de nuevos árboles que cierran círculo de la economía verde.

También fomentando en la industria vasca la obtención de las certificaciones más exigentes como las **DAP sectoriales y de producto**, declaraciones ambientales que miden la huella de carbono generada en cada proceso productivo.

Junto con las empresas y las administraciones vascas fomentamos la innovación y la investigación permitiendo la aparición de nuevos productos más eficientes y ecológicos con la **madera km0** como materia prima.



SOLUCIONES CON DRONES Y TECNOLOGÍAS AFINES



Dronak

EXPERTOS EN RPR (ROBOTTS PILOTADOS REMOTAMENTE)

DE AGUA, TIERRA Y AIRE.

Somos una empresa tecnológica del ámbito de la de la robótica, expertos en **RPR** (Robots Pilotados Remotamente), conocidos como **drones**, actuamos principalmente en los sectores aéreos, marítimos y terrestres.

En nuestro departamento de **I+D+i** desarrollamos soluciones Ad Hoc para las industrias con **hardware y software** especializados y preparados para operar en entornos complejos a un coste efectivo.

Pilotamos, formamos, diseñamos y comercializamos todo lo relacionado a los RPRs, además de ofrecer servicios en otras áreas complementarias.

Nuestros **RPR (Robots Pilotados Remotamente)** tienen aplicaciones comerciales muy variadas y ofrecen oportunidades disruptivas para las empresas en sectores de la ingeniería e industria tales como construcción, agricultura de precisión, oil and gas, seguridad, entre otros.

En Dronak no solo hacemos drones, creamos futuro.



INGENIERÍA

- Control de estructuras
- Líneas eléctricas
- Parques eólicos y fotovoltaicos
- Mediciones volumétricas 3D
- Cámaras térmicas
- Construcción



MOVILIDAD

- Smart mobility
- Control urbano
- Transporte de paquetería
- Monitorización "REAL TIME"
- Video vigilancia



AGRICULTURA DE PRECISIÓN

- Control agropecuario, plagas...
- Vigilancia riegos
- Salud de los cultivos
- Ortomapas 2D
- Estrés hídrico



SEGURIDAD

- Vigilancia y observación
- Busqueda y rescate
- Prevención de incendios
- Detección de VOC / Gases
- Seguimiento y control de tráfico



MEDIO AMBIENTE

- Siembra y cartografía de árboles
- Localización de especies
- Prevención y extinción de incendios
- Análisis de Impacto ambiental y suelo marino
- Vigilancia de vertidos tóxicos
- Mapeado de reservas naturales



LOGÍSTICA

- Distribución logística
- Vigilancia de almacenes
- Lectura de códigos RFID
- Procesos logísticos internos
- Ubicación de activos en almacenes



DRONAK GROUP



SOSTENIBILIDAD

FABRICACIÓN PROPIA

En Dronak tenemos un área dedicada al diseño y manufactura de prototipos de drones para su posterior fabricación.

Dronak group desarrolla una continua labor de investigación y adaptación a los requerimientos del sector.

DRONAK ha prototipado y ensamblado drones como **DNK-X8**, un dron de gran envergadura, capaz de levanta unos 50 kg de carga de pago y con una autonomía de vuelo de 32 min aproximadamente, **Water Drone** con sensores para medición de parametros de calidad de agua, **DNK MAT** para vuelos indoors sin GPS, con estabilidad, seguridad y precisión.



WATER DRONE



DNK MAT

Contacta

info@dronak.com

+ 34 944 742 794

Astondo bidea
Edificio 612
Parque Tecnológico



“Aunamos diseño, desarrollo, innovación y sostenibilidad”.





Euskal Trenbide Sarea – Red ferroviaria Vasca es el ente público del Gobierno Vasco responsable de las infraestructuras ferroviarias dependientes de la Comunidad Autónoma Vasca. Se encarga del diseño, planificación, construcción, mantenimiento y gestión de infraestructuras ferroviarias: Ferrocarril Metropolitano, sistema tranviario, red de alta velocidad y ferrocarriles regionales.

En la actualidad, ETS ha apostado por la implantación de la metodología BIM (Building Information Modeling). Este sistema ya se está utilizando en el diseño de proyectos como la estación del TAV de Donostia (Atotxa), la estación del TAV de Ezkio-Itxaso, el proyecto de las nuevas cocheras del BEI en Gasteiz o el frontón de la Esperanza de Bilbao. Su aplicación implica:

- **Entorno de trabajo colaborativo, en el que desde el inicio participan todos los agentes implicados (Proyectos, Construcción, Instalaciones y Operaciones) integrando y compartiendo información en tiempo real**
- **Integración de toda la documentación del proyecto: modelado, cálculos, planificación, presupuestos,... que se mantiene actualizada durante todo del ciclo de vida.**

Dirección:
San Vicente, 8 - 14ª planta. Edificio Albia
Bilbao-48001
Bizkaia
Teléfono: 946 572 600
Mail: ets@ets-rfv.eus
Web: www.ets-rfv.euskadi.eus



Euskal Trenbide Sarea – Red ferroviaria Vasca, Euskadiko Autonomia Erkidegoaren esku dauden trenbide azpiegituren arduratzen den Eusko Jaurlaritzaren erakunde publikoa da. Trenbide azpiegituren diseinuaz, plangintzaz, eraikuntzaz, mantentze lanez eta kudeaketaz arduratzen da. Bere jarduera eremuak hauek dira: Trenbide Metropolitarra, tranbia sistema, abiadura handiko sarea eta lurralde mailako trenbideak.

Gaur egun, ETSk BIM (Building Information Modeling) metodologiaren ezarpenaren aldeko apustua egin du. Sistema hori ari da erabiltzen jadanik zenbait proiekturen diseinuan, AHTren Donostiakoko geltokia (Atotxa), AHTren Ezkio-Itxasoko geltokia, Gasteizko BEAren kotxetegi berriaren proiektua edo Bilboko Esperantza pilotalekua. Zera da, lortzen duguna:

- **Lankidetzan oinarritutako laneko ingurunea, inplikaturako eragile guztien partaidetzarekin hasieratik (Proiektuak, Eraikuntza, Instalazioak eta Eragiketak), informazioa denbora errealean integratuz eta partekatuz.**
- **Proiektuaren dokumentazio guztiaren integrazioa: modelatua, kalkuluak, plangintza, aurrekontuak... eguneratuta izanik bizitza ziklo osoan.**

Helbidea:
Done Bikendi, 8 – 14. solairua. Albia Eraikina
Bilbo-48001
Bizkaia
Telefona: 946 572 600
Maila: ets@ets-rfv.eus
Webgunea: www.ets-rfv.euskadi.eus



Especialistas en **Soluciones Constructivas**

Fosroc es un líder mundial en el suministro de Soluciones Constructivas a medida para prácticamente cualquier tipo de proyecto de construcción, combinando productos de alta calidad, soporte técnico experto, servicio al cliente e innovación.

A la vanguardia de la tecnología química y con una amplia gama de productos, Fosroc ofrece una solución de alta calidad para diversos sectores de edificación y obra civil.

Reparación y protección del hormigón | Pavimentos y revestimientos | Selladores
Anclajes y cimentaciones | Impermeabilización | Aditivos para hormigón y mortero

Fosroc Euco, S.A.U.
Gasteiz Bidea, 11
48213 Izurza (Vizcaya)

Tel.: +34 946 217 160
Email: spain@fosroc.com
Web: www.fosroc.com



soluciones constructivas

Gama de productos



Pavimentos

Una completa gama de pavimentos y revestimientos para mejorar las características tanto de suelos nuevos como viejos



Impermeabilización

Membranas, revestimientos, morteros tapafugas, resinas de inyección y waterstops para impermeabilizar estructuras desde el sótano hasta la cubierta



Reparación

Refuerzo estructural, imprimaciones anticorrosivas y morteros para reparar el hormigón deteriorado



Selladores

Materiales flexibles para el sellado de juntas destinadas a aceptar movimientos térmicos



Aditivos

Productos que modifican y mejoran las propiedades de hormigones y morteros



Anclajes y cimentaciones

Grouts cementosos o en base resina para un relleno completo y permanente de huecos, tanto en nueva construcción como en trabajos de reparación



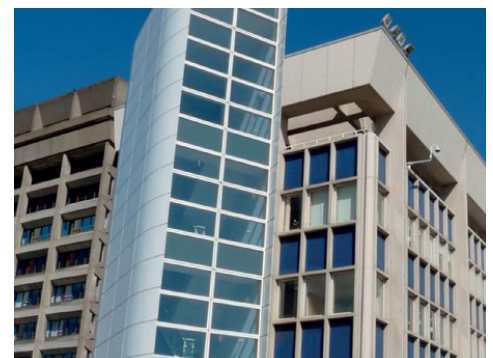
Adhesivos

Adhesivos para unión estructural de hormigón y mortero y para colocación de piezas cerámicas



Curadores y desencofrantes

Productos aplicados por pulverización para un curado eficaz del hormigón y agentes desmoldantes para todo tipo de encofrados



Revestimientos protectores

Productos que protegen las estructuras del ataque atmosférico o la exposición a agentes químicos





FUNDACIÓN
LABORAL
DE LA CONSTRUCCIÓN
País Vasco

DESCUBRE
TU FUNDACIÓN
944 231 460

paisvasco.fundacionlaboral.org

■ Formación

Oferta adaptada a las nuevas demandas del sector



cursosenconstruccion.com

■ Línea Prevención

Asesoramiento profesional gratuito



lineaprevencion.com

■ Tarjeta Profesional de la Construcción (TPC)

Tu acreditación profesional en el sector



trabajoenconstruccion.com

■ Empleo

Portal de empleo del sector de la construcción



construyendoempleo.com



Todos los sectores sin excepción están experimentando en los últimos años una revolución en sus procesos corporativos, y el sector de la construcción y del Real Estate no son una excepción.

Tecnologías como Blockchain, IA, IoT o Cloud Computing están teniendo gran influencia en todos los ámbitos, creando nuevos modelos de negocio y haciendo los procesos más eficientes, aun siendo éstos válidos y obteniéndose buenos resultados aplicándolos.

La respuesta al porqué de estos cambios está en el hecho de que nos encontramos en un entorno cada vez más global y competitivo, requiriéndose del trabajo colaborativo y de la optimización de procesos para poder no solamente subsistir sino conseguir excedentes a nivel de negocio.

En el caso del sector de la construcción y el Real Estate la metodología de la que más se habla es la Metodología BIM, la cual, mediante el diseño en 3 dimensiones y la capacidad de introducir datos en el modelo como si de una base de datos se tratase, es capaz de profesionalizar los procesos actuales llegando al punto de poder realizar un seguimiento en tiempo real de las obras y por consiguiente realizar muchas mejores estimaciones a nivel de Viabilidad o Riesgos.

Pero ni ambos sectores quedan impactados solamente por la metodología BIM ni dicha metodología implica solamente el diseño en 3D. La realidad es que BIM es solamente una palanca tractora para la introducción y la mejora de los procesos existentes y un motivo claro para la introducción de otras tecnologías que han tenido gran incidencia en el resto de sectores y que aun no han tenido esta cabida dentro del sector de la construcción y el Real Estate.



“BIM es el principio de un cambio de paradigma que engloba las estrategias de la Industria 4.0 para la digitalización de procesos industriales. En el sector de la construcción encontramos aplicaciones con una implicación todavía mayor, ya que las soluciones digitales no han sido implementadas globalmente y constituyen una innovación en sí mismas.”

Fernando Valero

Socio de consultoría de infraestructuras y Construcción de Grant Thornton

Tecnologías de trabajo



Gestión documental y trabajo colaborativo

La explotación de la información así como la toma de decisiones automática basada en datos es otro de los grandes puntos de mejora que desde Grant Thornton identificamos en el sector. Los datos existen y están guardados en ERPs, CRMs, Sistemas de Control Financiero o Gestores documentales, el problema está en que no se implantan sistemas que aporten valor mejorando la toma de decisiones basada en datos. Algunos de estos sistemas están relacionados con el formato papel directamente a las BBDD que explota la compañía o incluso la automatización de tareas manuales mediante la aplicación de Robots (RPAs) los cuales son capaces de ejecutar de manera iterativa las acciones desarrolladas por una persona.



Blockchain

Esta tecnología, la cual está siendo explotada masivamente en el sector financiero también aporta grandes beneficios para el sector de la Construcción. Blockchain consiste en una BBDD replicada y distribuida entre los integrantes de la red la cual funciona por consenso, no permitiendo cambiar un registro dentro de la misma. Esta operativa aporta cualidades a la información registrada en la misma, tales como trazabilidad, certificación, incorruptibilidad o seguridad. Por todo lo anteriormente comentado, blockchain permite contar con un registro inmutable de la información de una obra, como podría ser el seguimiento de la calidad de los materiales, y también permite realizar identidades digitales así como tokenizar activos. Todos estos casos de uso nombrados se están desarrollando actualmente dentro del centro de Innovación de Grant Thornton entre otros.



IoT

Finalmente, para poder explotar las tecnologías previamente definidas de tal manera que se saque su mayor potencial es necesaria la aplicación de dispositivos IoT. Estos dispositivos son captadores automáticos de datos los cuales además son capaces de enviar la información vía internet y en tiempo real. Se trata de sensores u otros dispositivos que, unidos a procesos de procesamiento de dichos datos y de transformación en información valiosa para la compañía, potencian y hacen mucho más fácil la toma de decisiones a nivel tanto operativo como estratégico.



Big Data e Inteligencia Artificial

La gestión de la documentación y el desarrollo de proyectos por personas deslocalizadas o integrando personas de distintos equipos, empresas o disciplinas es algo normal no solamente en la fase de diseño, sino durante todo el desarrollo de la construcción. Contar con sistemas robustos que sean capaces de establecer sistemas de validación, alarmas automáticas e incluso dashboards de seguimiento de los trabajos aporta grandes ventajas, no solamente a la hora de hacer más eficiente el proceso sino además permitiendo a los Project Managers o técnicos estar más focalizados en el desarrollo de sus tareas técnicas.



Cloud Computing

Todos estos avances previamente descritos deben ser seguros, escalables y disponibles en todo momento y lugar, y estas son las ventajas que aportan las infraestructuras en cloud, teniendo además en cuenta la casuística de los sectores de estudio, donde las obras se encuentran deslocalizadas de la oficina central.

Estas tecnologías impactarán y están impactando en mayor medida el sector de la construcción. Desde **Grant Thornton** destacamos que la inversión en dichas tecnologías no debe de ser una decisión tomada a la ligera sino meditada, analizando inicialmente los procesos internos de la compañía, identificando los puntos de mejora o la susceptibilidad de aplicación de dichas tecnologías y finalmente diseñando y definiendo la arquitectura de la solución más optima.

Se trata de un trabajo de introspección y análisis y posteriormente de modelización, ya que la implantación de cualquier solución tiene un impacto directo sobre los procesos y lleva consigo una gestión del cambio.

Ibermática es una compañía global de servicios de Tecnologías de la Información que lleva operando en el mercado desde 1973.

235M€ de ingresos

9M€ de beneficio

57M€ de fondos propios

3.200 profesionales

>20 centros operativos

10% ingresos internacionales

1 factoría de software

2 datacenters en España

Hitos

De datacenter de un grupo de accionistas...

...a compañía TI global en sectores/tecnologías y con proyección internacional.



Nuestros accionistas

55%
ProA
Capital



15%
ONCE



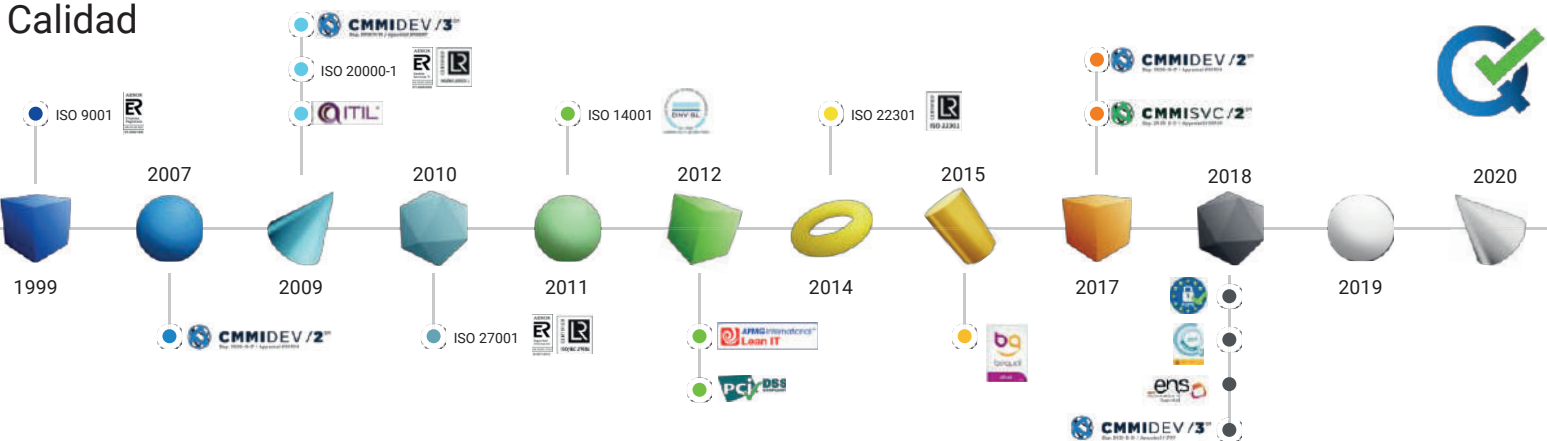
15%
Kutxabank



15%
Equipo
directivo



Calidad



Sectores



Industria



Administración Pública



Telco y Media



Utilities



Servicios Financieros y Seguros



Salud



Servicios

Digital



Sistemas TI



Consultoría



Proyectos



ITO y SSGG



AMS



Outsourcing

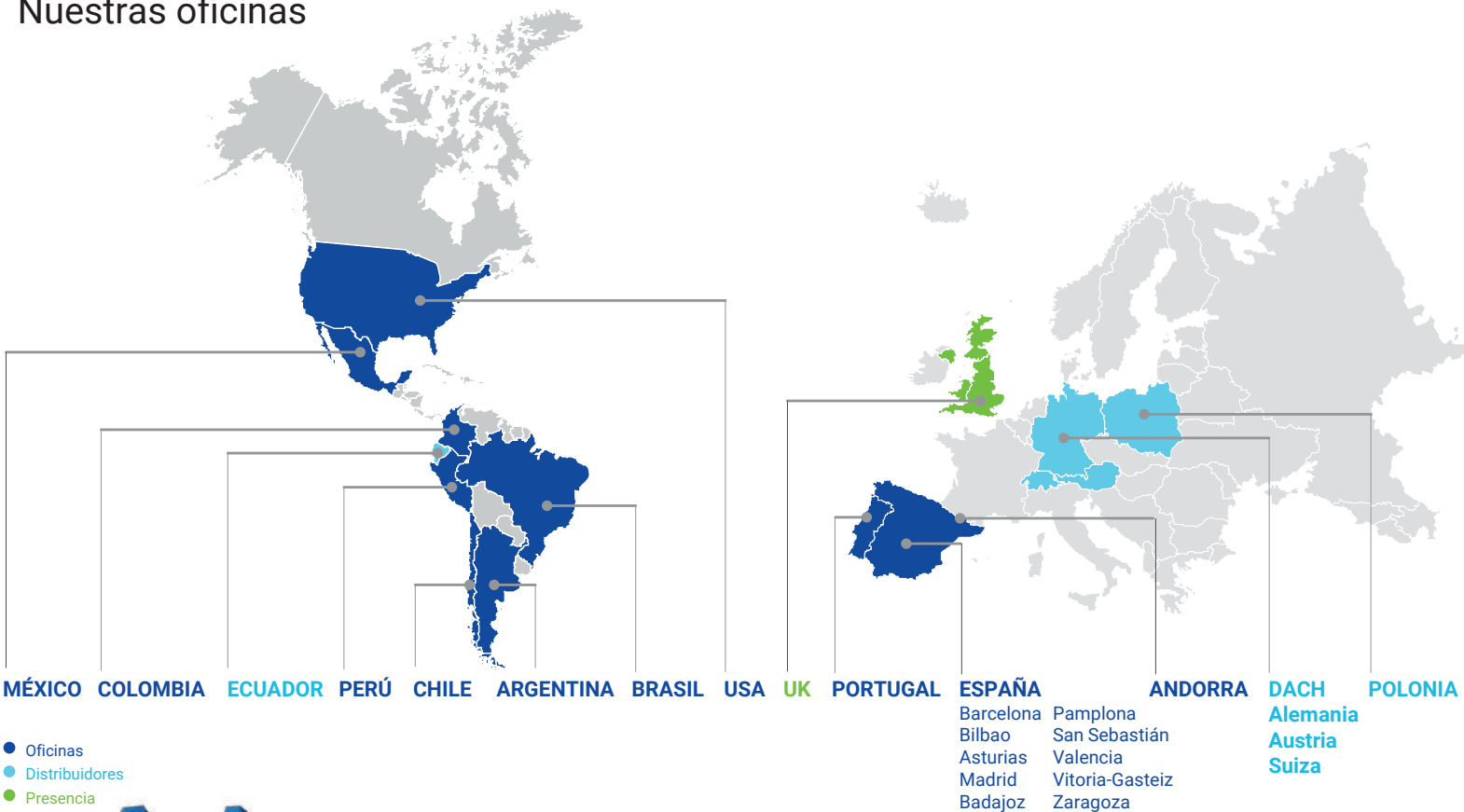


BPO



Despliegue plataformas

Nuestras oficinas



Ibermática

www.ibermatica.com

info@ibermatica.com



902 413 500 / 91 384 91 00



Tradizioa eta Berrikuntza
Eraikuntza eta Sustapena

Tradición e Innovación
Construcción y Promoción

J U N T O S
C O N S T R U I M O S
U N F U T U R O
S O S T E N I B L E

Elkarrekin etorkizun iraunkorra eraikitzen dugu

 **sukia**

Zure etxean zaude Estás en tu casa

www.sukia.com

45 URTEKO HISTORIA: ETORKIZUNA ERAIKITZEKO OINARRIAK

Lau hamarkadetan zehar lortutako ezagutza eta esperientzia erabakigarriak izan dira mundu mailan erreferentziatzeko mugarri bat lortzeko: **munduko passivhaus egoitza eraikin altuena**.

45 AÑOS DE HISTORIA: LOS CIMIENTOS PARA CONSTRUIR EL FUTURO

El conocimiento y la experiencia adquirida durante más de cuatro décadas han sido determinantes para llevar a cabo un hito a nivel mundial: la construcción del **edificio residencial passivhaus más alto del mundo**.

TORRE
BOLUETA

3.000
aluminiozko
ezkata
escamas de
aluminio

88m
altuera
de altura

28
solairu
plantas



KALITATEA, DISEINUA ETA IRAUNKORTASUNA

Lehen **etxebizitzak sustatzen eta eraikitzen** adituak gara. Kalitatezko etxeak, ingurumena eta ingurunearekiko errespetuzkoak, gure bezeroen beharrak asetzea helburu dutenak.



Sopelana, Sopela

359

2018an entregatutako etxebizitzak

Viviendas entregadas en 2018

CALIDAD, DISEÑO Y SOSTENIBILIDAD

Somos especialistas en **promoción y construcción** de primeras viviendas. Casas de calidad, respetuosas con el entorno y el medioambiente, que tienen como objetivo satisfacer las necesidades de nuestros clientes.



Elgoibar, Olasoate

873

Etxebizitza eraikitzen

Viviendas en ejecución



Durango, Montevideo

6480

Etxebizitza guztira

Viviendas en total



Usurbil, Ugartondo

INFINITE ALUMINIUM

LLEGA UNA NUEVA REVOLUCIÓN

Construir con visión es tomarse el futuro en serio. Hay que tener en cuenta que nuestros recursos son limitados. Estamos absolutamente convencidos de que el futuro del desarrollo urbano es inconcebible sin una reutilización sostenible de los materiales.

Estamos demostrando nuestro énfasis en la sostenibilidad utilizando Hydro CIRCAL para nuestras soluciones de carpintería, una de las aleaciones de aluminio más sostenibles de nuestro sector.

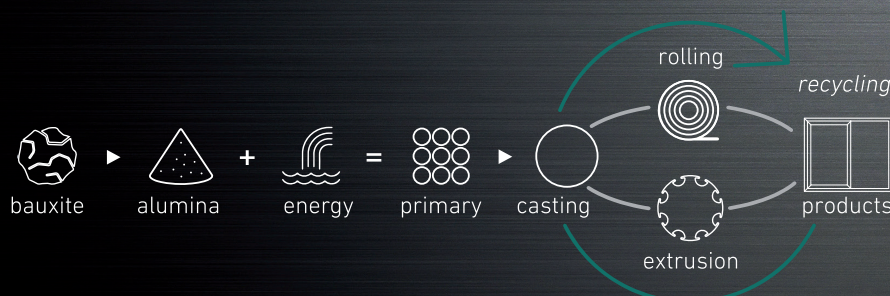
Hydro CIRCAL es una gama de aluminio de primera calidad fabricada con un mínimo del 75% de aluminio reciclado al final de su vida útil (chatarra posconsumo) como por ejemplo fachadas y ventanas que han sido desmontadas del edificio y totalmente recicladas.

La refundición de aluminio para nuevos usos sólo requiere el 5% de la energía necesaria para producir aluminio de obtención primaria. Por lo tanto, cuanto mayor sea el contenido reciclado de chatarra posconsumo, mejor será para nuestras ciudades y el medio ambiente.

A través del uso de energía renovable y de las últimas tecnologías, Hydro es capaz de producir un aluminio más limpio que nunca. El proceso de producción es totalmente trazable, y el producto está certificado por una entidad independiente (DNV-GL). La producción certificada es una revolución en la industria de la construcción.

200.000.000 TONELADAS INFINITAS

Desde siempre hemos desmantelado las estructuras existentes para construir algo nuevo. Hoy en día, esto no solamente es inevitable desde el punto de vista económico, sino que también lo es desde el punto de vista ecológico. Actualmente, 200.000.000 toneladas de aluminio "se almacenan" en edificios de todo el mundo - listos para un reciclaje responsable e infinito.



CICLO DE VIDA DE 360° ¡TODOS GANAMOS!

Gracias a nuestras soluciones de carpintería que utilizan Hydro CIRCAL, el aluminio originario de chatarra posconsumo se recicla y vuelve al ciclo de producción. A este proceso de recuperación de materiales lo llamamos "minería urbana". Ahorra recursos de materias primas y reduce la cantidad de residuos en nuestras ciudades.



TECHNAL



LUCHANDO POR SER SOSTENIBLE

Nos esforzamos por lograr una conducta responsable en todas nuestras acciones. Las soluciones de carpintería que utilizan Hydro CIRCAL tienen la mayor cuota de aluminio reciclado posconsumo del mercado: 75% o más. El proceso de producción está certificado de forma independiente según la norma ISO 14064 y es completamente trazable.

100% DE OPORTUNIDADES. 5% DE ENERGÍA

Desde siempre hemos desmantelado las estructuras existentes para construir algo nuevo. Hoy en día, esto no solamente es inevitable desde el punto de vista económico, sino que también lo es desde el punto de vista ecológico. Actualmente, 200.000.000 toneladas de aluminio "se almacenan" en edificios de todo el mundo - listos para un reciclaje responsable e infinito.



MÍNIMA HUELLA DE CO₂

Hydro CIRCAL tiene la huella de CO₂ más reducida del mundo: alrededor de 2,0 kg CO₂ (1,5 - 2,3 Kg CO₂) por kilo de aluminio. Esto es un 84% menos que el promedio mundial de la extracción primaria.



(CERTIFICACIÓN
DE EDIFICIOS
SOSTENIBLES)³

Nuestras innovadoras soluciones de carpintería aseguran a los proyectistas, arquitectos e inversores que sus proyectos cumplan con los requisitos de certificación sostenible. Nuestros sistemas cuentan con la certificación de producto sostenible de IFT Rosenheim, la certificación EPD del Instituto Bauen undUmwelt e.V. y la internacional Cradle to Cradle certificación.

VAMOS A CONSTRUIR LOS EDIFICIOS DEL FUTURO

Con Hydro CIRCAL, sus proyectos ya estarán cumpliendo con los estándares del mañana, incluyendo las certificaciones de edificios ecológicos como LEED, BREEAM y DGNB. Cuantos más proyectos se construyan utilizando soluciones de sistemas de aluminio sostenibles, más se podrá mejorar constantemente el equilibrio ecológico entre material y edificio. El hecho es que la construcción del futuro se realizará con recursos renovables. Queremos ayudarle a participar en este proceso.

SIMPLE Y REVOLUCIONARIO

Con este breve texto en su memoria del proyecto ayuda a diseñar los edificios del futuro.

La carpintería utiliza material reciclado en las siguientes áreas:

- Aluminio con un porcentaje de al menos 75% proveniente de aluminio reciclado de posconsumo, p. ej. AW 6060 T66. En el caso del aluminio con recuperación al final del ciclo de vida útil, el material que ya ha sido instalado y retirado de un edificio se recicla una vez más. La proporción mínima del 75% de este material posconsumo debe ser verificada por medio de una certificación independiente.

Building technologies

Construyendo el futuro, JUNTOS.

Construyendo

Somos expertos en tecnologías que abarcan toda la cadena de valor, combinándolas e integrándolas para que el bienestar, el medio ambiente y la calidad de vida recuperen su valor.

14.000.000 de ingresos

300 Clientes / Año

6 millones de euros de negocio para nuestros clientes

50 Nuevos empleos creados

110 Publicaciones en los últimos 4 años

22 Patentes

el futuro,

Si crees en el futuro, y apuestas por una transformación real, que impacte en tu vida y en tu negocio, la respuesta está en la tecnología.



Centro de investigación y desarrollo tecnológico referente en Europa

- Presentes en plataformas y Foros de decisión europeos.
- 47 proyectos liderados y 233 proyectos aprobados en H2020.
- Alianzas permanentes con Universidades, Centros Tecnológicos y empresas europeas.

Equipos científicos de prestigio internacional

- NANOTECNOLOGÍA
- EFICIENCIA ENERGÉTICA
- ECONOMÍA CIRCULAR
- DIGITALIZACIÓN
- STRUCTURAL HEALTH MONITORING

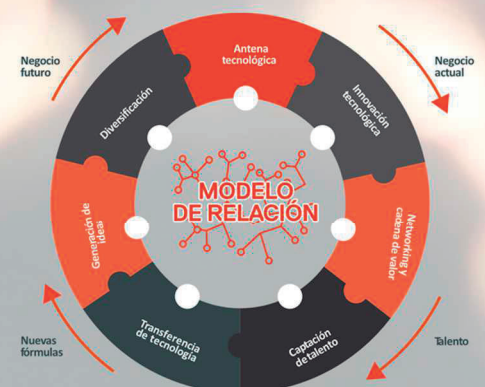
JUNTOS.

Compartamos un sueño, una visión, un reto, un propósito: "Vamos a transformar juntos nuestro entorno".



Equipo multidisciplinar y con Talento.

- 150 Personas de 15 Titulaciones: Ingenieros, químicos, arquitectos, economistas, físicos....
- 43 Doctores
- 8 MBAs
- 136 Científicos Tecnólogos





VEKA SPECTRAL

Cuando un perfil de PVC se convierte en Arte

INNOVACIÓN, DISEÑO y RENDIMIENTO definen **VEKA SPECTRAL**. Una nueva tecnología de acabados para sistemas de perfiles de PVC VEKA que aúna la perfección del diseño y una técnica sobresaliente para desarrollar proyectos capaces de estimular los sentidos.

VEKA SPECTRAL combina el lacado y el foliado logrando un aspecto ultramate de acabado sedoso, irresistible al tacto, que repele las huellas y la suciedad, y le otorga una alta resistencia a la intemperie, al rayado y a la abrasión.

Este exclusivo acabado de superficies cuenta con una amplia variedad de colores para dar respuesta a cualquier exigencia de diseño, en línea con las nuevas tendencias arquitectónicas.

VEKA SPECTRAL es el fruto de una labor innovadora propia del **Grupo VEKA** que constituye un punto de inflexión en la fabricación y el diseño de perfiles de PVC.

www.veka-spectral.es



Sistemas de Ventanas de PVC

CON **V**
DE VOSOTROS

El **Grupo VEKA** es el mayor extrusor y líder mundial dedicado exclusivamente al diseño, y desarrollo de perfiles de **PVC para carpintería exterior**. Con sede principal en Alemania, y avalada por sus más de 45 años de experiencia, **VEKA** está presente en 3 continentes, a través de sus 36 filiales y sus 24 plantas de fabricación en el mundo y opera en más de 80 mercados.

La filial para España y Portugal, **Vekaplast Ibérica**, cuenta con una planta de extrusión de perfiles de PVC ubicada en Burgos, con más de 14.000m² de instalaciones. Con esta infraestructura, **VEKA** desarrolla en la Península sistemas de perfiles de PVC, que dan respuesta a las necesidades de carpintería de cualquier proyecto: sistemas practicables y deslizantes, sistemas de control solar tipo capialzado, mallorquinas y contraventanas, perfiles complementarios y placas.

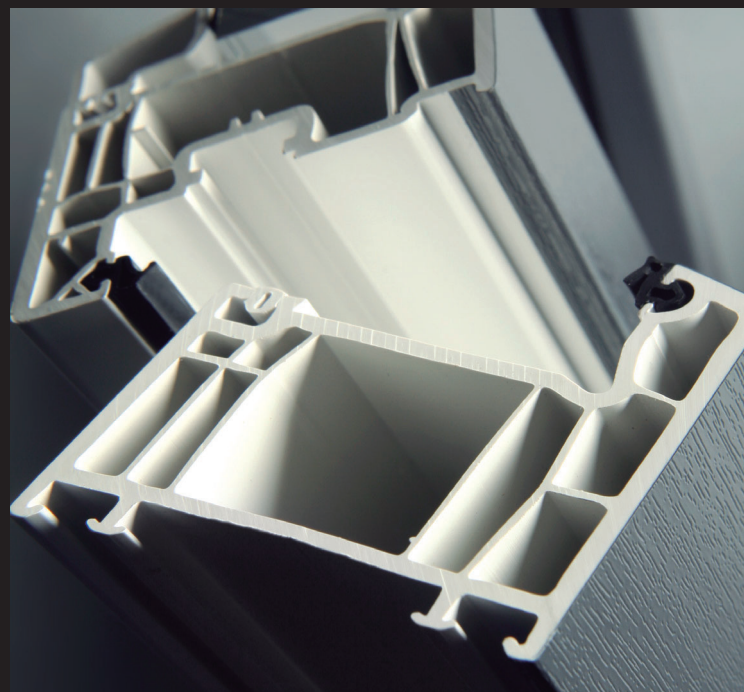
Sistemas **certificados por el Instituto Passivhaus** como **SOFTLINE 82 Passiv**, garantizando valores y clasificaciones máximas respecto a la Normativa actual, que permiten reducir el gasto energético a la vez que obtener ambientes cálidos y confortables. **VEKA SPECTRAL**, es la última tecnología de **VEKA** en cuanto a acabados, que surge como una alternativa de valor frente al tradicional y probado acabado foliado. Una nueva superficie que convence por su estética especialmente elegante y su tacto sedoso y único. La solución perfecta para arquitectos y prescriptores ofreciéndoles nuevas posibilidades de diseño en fachadas y edificios.

Una **apuesta por la sostenibilidad, y el ahorro energético**, a través de la creación de sistemas de ventanas que mejoren la calidad de vida de las personas, con las **máximas prestaciones térmicas y acústicas** y bajo la premisa del máximo **respeto medioambiental**.

VEKA consciente de su responsabilidad medioambiental, ha puesto los medios para cerrar el ciclo de vida de las ventanas fabricadas con sus sistemas. En 1993 la compañía puso en marcha la instalación de reciclaje de ventanas de PVC más grande y moderna de Europa en Behringen/Turingia (Alemania), convirtiéndose así en la primera empresa del sector con instalaciones propias para la recuperación integral y ecológica de la ventana de PVC en su etapa de post consumo. Posteriormente dos nuevas plantas de reciclaje en Gran Bretaña y Francia, dan muestra de la conciencia ecológica de la compañía.

Más información: www.veka.es

VEKAPLAST IBÉRICA



Siga a **VEKA Ibérica** en:

El Blog de Veka

Eficiencia en tus ventanas
www.elblogdeveka.es



VEKAPLAST IBÉRICA

C/ López Bravo 58 · 09001 Burgos
Teléfono +34 947 47 30 20
www.veka.es

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea