



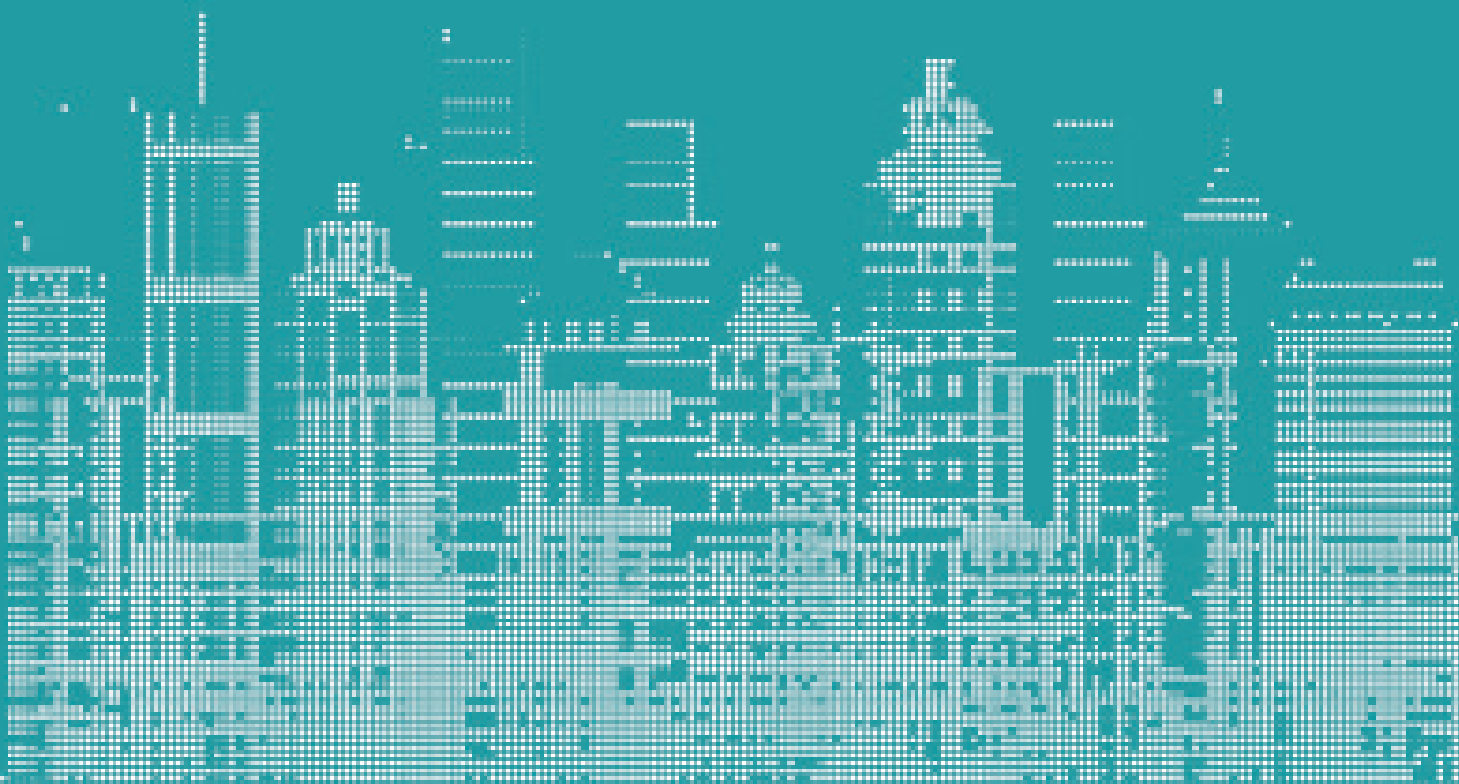
EESAP12
CICA5

EUROPEAN CONFERENCE 2021
29-30 SEPTEMBER • BILBAO

Renovation wave

12th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND
SUSTAINABILITY IN ARCHITECTURE AND PLANNING

5th 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 (12º. 2021)

Renovation wave [Recurso electrónico]: 12º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura y Urbanismo – 5º Congreso Internacional de Construcción Avanzada = 12th European Conference on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning – 5th International Congress of Advanced Construction : Bilbao, 29-30 Septiembre 2021 / [editor] Rufino J. Hernández Minguillón. – Datos. – Bilbao : Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea, Argitalpen Zerbitzua = Servicio Editorial, 2021. – 1 recurso en línea : PDF (206 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 40º Cursos de Verano de la UPV/EHU.

Texto bilingüe en español e inglés.

Modo de acceso: World Wide Web

ISBN. 978-84-1319-374-8.

1. Arquitectura sostenible - Congresos. 2. Arquitectura y economías de energía. I. Hernández Minguillón, Rufino J., ed. II. Congreso Internacional de Construcción Avanzada (5º. 2021)

(0.034)620.9:720(063)

EDITOR

Rufino J. Hernández Minguillón

DISEÑO

Matxalen Etxebarria Mallea

Elena Moreno Jordana

Anna Figuerola López

EDITA

© Universidad del País Vasco/Euskal

Herriko Unibertsitatea, Servicio

Editorial/Argitalpen Zerbitzua, 2021.

ISBN: 978-84-1319-374-8

**12º CONGRESO EUROPEO SOBRE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SOSTENIBILIDAD EN
ARQUITECTURA Y URBANISMO / 5º CONGRESO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIÓN
AVANZADA**

12th EUROPEAN CONFERENCE ON ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY IN
ARCHITECTURE AND PLANNING / 5th INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED
CONSTRUCTION

Renovation wave

RUFINO J. HERNÁNDEZ MINGUILLÓN

Bilbao, 29-30 Septiembre 2021

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

Matxalen Etxebarria Mallea

CAVIAR

Anna Figuerola López

CAVIAR

Irati Otamendi Irizar

CAVIAR

Silvia Pérez Bezos

CAVIAR

Aimar Santos García

CAVIAR

Alba Arias Royo

CAVIAR

Jon Ansoleaga Ugarte

ERAIKUNE

Maialen Oregi Arbide

ERAIKUNE

Leticia Fernández Calvete

ERAIKUNE

Daniel Barredo García

ERAIKUNE

Ana Belén Ortega París

ERAIKUNE

Andrea González Rivero

ERAIKUNE

Noelia Ortiz Santiso

ERAIKUNE

COMITÉ CIENTÍFICO / SCIENTIFIC COMMITTEE

Fernando Bajo Martínez de Murguía

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Xabier Barrutieta Basurko

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Rafael Córdoba Hernández

Universidad Politécnica de Madrid

Helena Granados Menéndez

ARC3 Arquitectura

Olatz Grijalba Aseguinolaza

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Agustín Hernández Aja

Universidad Politécnica de Madrid

Ángela Matesanz Parellada

Universidad Politécnica de Madrid

Xabat Oregi Isasi

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Íñigo Rodríguez Vidal

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Judith Ryser

International Society of City and Regional Planners (London)

José María P. Sala Lizarraga

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea

Francisco Sánchez de la Flor

Universidad de Cádiz

13 PONENCIAS MAGISTRALES /LECTURES

- 15 Intervention in the existing city. Who said fear?
La intervención en la ciudad existente: ¿quién dijo miedo?
IGNACIO DE LA PUERTA
-

- 17 Scientific and academic challenges to accompany the renovation wave in Spain
Retos científicos y académicos para acompañar la oleada de rehabilitación en España
BELINDA LÓPEZ-MESA
-

- 19 How Sustainability in architecture is changing: new perspectives
Cómo está cambiando la sostenibilidad en la arquitectura: nuevas perspectivas
DANIELA BOSIA
-

- 21 Key points of the long-term Energy Renovation Strategy for the Building Sector in Spain (ERESEE) 2020
Aspectos clave de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE 2020)
EDUARDO DE SANTIAGO RODRIGUEZ
-

- 23 Cambio climático, isla de calor y calidad de vida urbana
Cambio climático, isla de calor y calidad de vida urbana
EMILIA ROMÁN LÓPEZ
-

- 25 Is 15 minute city healthy to everyone?
¿Es la ciudad de 15 minutos saludable para todos?
RESTER HIGUERAS, ELISA POZO
-

- 27 The footprints of buildings
Las huellas de los edificios
MADELYN MARRERO
-

29 COMUNICACIONES /PAPERS

- 31 Energy savings in energy refurbishment of public rental social housing
Ahorros de energía en rehabilitaciones energéticas de viviendas sociales de alquiler
JAVIER LLORENTE
-

- 47 Data-Driven Analysis of Heating Demand in Buildings Connected to District-Heating: Pattern Recognition and Demand Prediction
Análítica de Datos de Demandas de Calor en Edificios Conectados a Redes de Distrito: Reconocimiento de Patrones y Predicción de Demanda
MIKEL LUMBREBRAS
-

- 57 Basic prefabricated constructions as a strategy to address housing shortage in South American slums
Construcción prefabricada básica como estrategia de superación masiva de la pobreza habitacional en los asentamientos informales latinoamericanos
IÑIGO HERNÁNDEZ AYCART
-

-
- 75** **Review of indicators for the definition of sustainable cities. Action criteria**
Revisión de indicadores para la definición de ciudades sostenibles. Criterios de actuación
VANESSA GUILLÉN-MENA
-
- 89** **Urban Green infrastructure as a strategy to address urban energy efficiency and sustainability. A case study: the neighborhood of Milagrosa (Pamplona)**
La Infraestructura Verde Urbana como estrategia para afrontar la eficiencia energética y la sostenibilidad urbanas. El barrio de la Milagrosa (Pamplona)
ITXARO LATASA
-
- 105** **A multicriteria scheme for identifying potential areas for Sustainable Urban Drainage Systems in urban and rural areas**
Metodología multicriterio para la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en entornos urbanos y rurales
ANTONIO SUÁREZ-INCLÁN
-
- 119** **Analysis of traditional and BIM workflows for the optimization of energy-efficiency improvement interventions in collective residential buildings**
Análisis de los flujos de trabajo tradicional y BIM para la optimización de las intervenciones de rehabilitación energética en edificios residenciales colectivos
JUAN PEDRO OTADUY ZUBIZARRETA
-
- 133** **Performance gap in energy retrofitting of social housing: comparison of two case studies in Southern Europe**
Brecha energética en la rehabilitación de vivienda social: comparación de dos casos estudio en el sur de Europa
INÉS DÍAZ REGODÓN
-
- 145** **Nature-Based Solutions as a path towards sustainable management in water and energy: vegetated swales and ground source heat pump**
Soluciones basadas en la naturaleza como camino hacia la gestión sostenible del agua y la energía: cunetas verdes y bomba de calor geotérmica
CARLOS REY-MAHÍA
-
- 151** **Domestic heat pumps as part of demand-side management in smart grids**
Las bombas de calor domésticas como parte de la gestión de la demanda en redes inteligentes
MIKEL ARENAS-LARRAÑAGA
-
- 169** **Nature-Based Solutions as a path towards sustainable management in water and energy: vegetated swales and ground source heat pump**
Soluciones basadas en la naturaleza como camino hacia la gestión sostenible del agua y la energía: cunetas verdes y bomba de calor geotérmica
MARIA JOSEFA AGUDO-MARTÍNEZ
-
- 179** **The challenge of promoting eco-efficient housing. The case of Kosta Zabala building in Bilbao**
El reto de promocionar Vivienda ecoeficiente. El caso del edificio Kosta Zabala en Bilbao
JOSÉ MANUEL BARAIBAR
-

189 SESIÓN PÓSTER /POSTER SESSION

191 Evaluation of forest biomass as renewable energy source to reduce the environmental impact of University campuses

Evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía sostenible para reducir el impacto medioambiental de los campus universitarios

ALBA ARIAS ROYO

193 PATROCINADORES PLATINO / PLATINUM SPONSORS

COLABORADOR INSTITUCIONAL



BIZKAIKO
CAMPUSA
CAMPUS
DE BIZKAIA



ARKITEKTURA
SAILA
DEPARTAMENTO
DE ARQUITECTURA

PATROCINADOR INSTITUCIONAL

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

LURRALDE PLANGINTZA,
ETXEBIZITZA
ETA GARRAIO SAILA
Ebrebizitza eta Arkitektura Zuzendaritza

DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN
TERRITORIAL, VIVIENDA
Y TRANSPORTES
Dirección de Vivienda y Arquitectura

EUSKO JAURLARITZA



GOBIERNO VASCO

HEZKUNTZA SAILA

DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN

PATROCINADORES PLATINO

Ibermática

i·ingenia.
ingeniería y arquitectura

Bilbao
PORT **B**

cementos
LEMONA
A CRH COMPANY

B BaskEgur

eibho
ARCHITECTURAL SOLUTIONS

VEKA Creamos mejores
espacios de vida

PATROCINADORES ORO



COLABORADOR



Asociación Riojana para la
Innovación Constructiva

Presentación

Este libro recoge las comunicaciones seleccionadas para el 12º Congreso Europeo sobre Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Arquitectura / 5º 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 Eraikune, el Clúster de la Construcción de Euskadi. El congreso, que se celebra en el marco de los 40º Cursos de Verano de la UPV/EHU, aborda en esta edición el tema de la "Oleada de renovación". Alrededor de este tema general se han seleccionado 7 ponencias magistrales, además de 13 comunicaciones revisadas por pares por el comité científico que presentarán trabajos de investigaciones actuales en las sesiones orales y póster.

El objetivo del congreso se centra en fomentar la mejora de la calidad de vida de las personas que viven en los edificios, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y en la promoción de la digitalización mejorando la reutilización y el reciclaje de materiales. ¿Cómo se está transformando la industria de la arquitectura y la construcción hacia la urgente necesidad de renovación del parque construido?

El congreso pretende 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 octava edición del Premio VEKA a la mejor comunicación oral 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 undécima edición del Congreso: Vicerrectorado del Campus de Gipuzkoa, Vicerrectorado de Investigación, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Departamento de Arquitectura, Departamento de Educación del Gobierno Vasco, y demás instituciones y empresas patrocinadoras.

Comité organizador

Presentation

This book collects the papers selected for the 12th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture / 5th 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 40th Summer Courses of the UPV / EHU, addresses in this edition the theme of "Renovation wave". Around this general theme, 7 lectures have been selected, in addition to 13 peer-reviewed papers by the scientific committee that will present current research work in the oral and poster sessions.

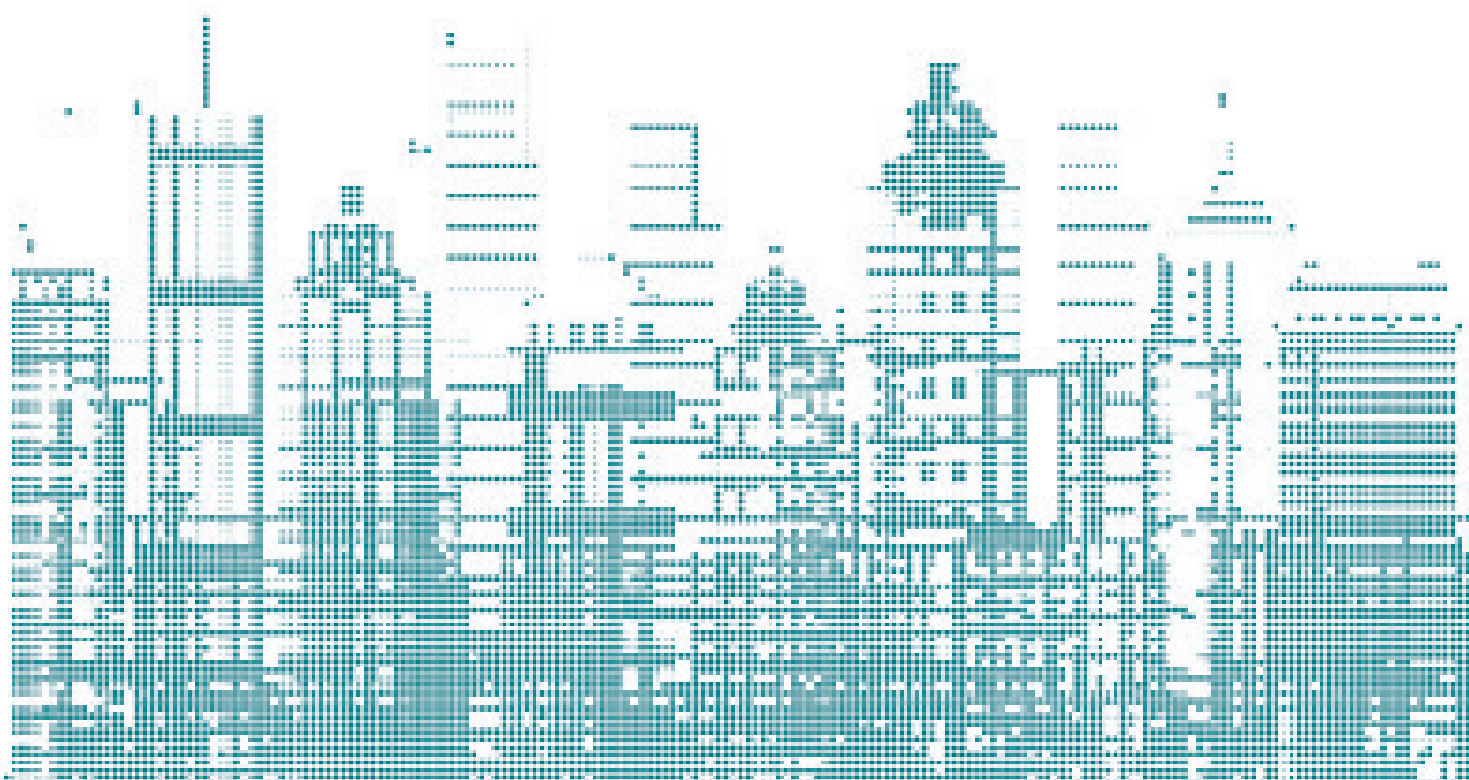
The objective of the congress is focused on enhancing the quality of life for people living in buildings, reducing greenhouse gas emissions and promoting digitalisation by improving the reuse and recycling of materials. How is the architecture and construction industry transforming towards the urgent renovation need of the existing building sector?

The congress aims 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 seventh edition of VEKA Award will be presented for the best contribution to the Congress, which aims 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 eleventh edition of the Congress: Vice-Rectorate of the Gipuzkoa Campus, Vice-Rectorate of Research, Higher Technical School of Architecture, Department of Architecture, Department of Education of the Basque Government, and other sponsoring institutions and firms.

Organizing Committee

Ponencias magistrales

Lectures



Intervention in the existing city. Who said fear?

La intervención en la ciudad existente: ¿quién dijo miedo?

Ignacio de la Puerta¹

ABSTRACT

Intervention in the built city is not something new. The nineteenth century was the scene of the development of many European cities that, at the mercy of industrial development and the appearance of the railway, made possible migratory movements of many people and families. Those who, in search of a better future in which to develop their vital expectations, abandoned their places of origin in rural areas to seek a new life in the new emerging cities.

This population movement, together with the increase in life expectancy and the drastic reduction in mortality at births, came to the consequent change in the replacement rate. This phenomenon caused the most active cities to overflow, generating informal settlements in the peripheries of cities due to speculation and lack of land and adequate places to host all the people who arrived attracted by the vitality that was beginning to be generated in these urban environments.

The sanitary, hygiene and access problems to basic services, as well as those derived from the coexistence of animals and people in the cities, led to a process of sanitation and planning of new extensions to solve the needs and demands that the growth of the urban population required.

The Charter of Athens came up with the best solutions to those conflicts, and the motor vehicle became the ecological solution of the moment to all urban problems. Today it is one of the causes of a large part of the problems that our cities suffer, in which it is a matter of recovering the space that vehicles have stolen from use for the coexistence and enjoyment of people.

With the passage of time, it has been shown that the formulas of urban planning that served in the nineteenth century, and that remain in force, are not adequate to meet current needs.

The situation experienced at the end of the 19th century was reproduced in the decade of the 50-60s in our environment. By this time, it is again being reproduced in emerging countries and regions, giving rise to the formulation of the New Urban Agenda, as an instrument multi-level and multi-stakeholder strategic planning with the ability to address the complexity of the problems of the cities of the XXI century.

The Basque Country has been sensible to these problems and at present, in addition to having equipped itself with the Urban Agenda of the Basque Country BULTZATU 2050, it is working on an intervention model that, with a comprehensive nature, allows reversing the conditions of vulnerability in which it finds a large part of its population (approximately 30%).

The Opengela program, developed within the framework of the HIROSS4all European Project, tries to solve two of the main barriers that intervention in our cities entails, such as proximity management, as a one-stop-shop service capable of leading and establishing the framework of multisectoral cooperation, and financing that allows all people, regardless of their conditions, to access affordable financing.

Key Words: Urban Agenda, Integral Urban Regeneration, Urban Planning, Urban Vulnerability

(1) Director de Planificación Territorial, Urbanismo y Regeneración Urbana, Gobierno Vasco, idelapuerta@euskadi.eus.

Scientific and academic challenges to accompany the renovation wave in Spain

Retos científicos y académicos para acompañar la oleada de rehabilitación en España

Belinda López-Mesa¹

ABSTRACT

The massive renovation of existing buildings is one of the main objectives of the European Commission to pave the way for a decarbonized and clean energy system in the European Union (EU), since buildings are one of the largest sources of energy consumption and are responsible for over a third of the emissions in Europe. However, only 1% of buildings undergo energy-efficient renovation every year in Europe [1]. Effective action in all sectors and by all stakeholders is crucial to making Europe climate-neutral by 2050. In this paper, the role that the scientific and academic community can play to support the renovation of the existing building stocks is explored.

This is done by conducting a study focusing on the following questions:

- 1) Why a renovation wave in the building sector?
- 2) What is its role in the European Energy Transition?
- 3) What are the important aspects of the buildings renovation identified already?
- 4) What are the specific challenges for Spain?
- 5) How can the scientific and academic communities contribute to these challenges?
- 6) What are the scientific and academic communities in Spain doing so far?

To answer the first four questions, an exhaustive state of the art is carried out, including not only scientific literature but also official reports, government documents, and regulations. The collected data set will serve to identify which are the critical research topics in the field of buildings energy renovation. Subsequently, the fifth question, about how the scientific and academic communities can contribute to this field, will be answered based on the WIPO model on knowledge exchange between the scientific-academic and industrial worlds. Finally, the answer is given to the sixth question on the evaluation of the transfer of knowledge in this field in Spain, analyzing various aspects, such as public funding of research projects on building stock renovation, scientific production in this field, the presence of universities in associations that promote buildings renovation, transfer through teaching, etc.

To conclude, the aspects that can be improved in the exchange of knowledge between the scientific-academic world and the industrial world are discussed.

Key Words: energy renovation of buildings, energy transition, European renovation wave, Spain challenges, role of the scientific-academic world.

(1) Departamento de Arquitectura (EINA, Universidad de Zaragoza). C/ María de Luna 3, Zaragoza, Spain. belinda@unizar.es

How Sustainability in architecture is changing: new perspectives

Cómo está cambiando la sostenibilidad en la arquitectura: nuevas perspectivas

Daniela Bosia¹

ABSTRACT

Ever since its definition in the 1987 “Brundtland Report” by the World Commission on Environment and Development, the concept of sustainable development has veered – at least in architecture – towards the environmental scope. Energy conservation and renewable energy have been the core of sustainable architectural design in the past few decades all across Europe. This is a positive aspect that, nevertheless, does not fully correspond to the concept of sustainability. The latter has mutated over the years: it has become more complex; sustainability has pervaded society and has become a “cultural” element. Today people are well-aware of how fragile the world is, and that they can, or rather must contribute to sustainable development. “Sustainability” has become the driver of numerous policies, even in the construction sector. It has found numerous interpretations: from energy conservation to the production of the same from renewable sources; from the “smart” feature applied at all levels (buildings, cities, landscapes), to the concept – easy to understand but equally difficult to bring about – of “resilience”, to the recent challenges to combine beauty, sustainability, and social inclusion. In fact, the 17 Sustainable Development Goals in the UN’s 2030 Agenda for sustainable development and the plans of action to achieve them have given birth to new tests – the Green Deal and the New European Bauhaus initiative – that are in turn outlining new perspectives to interpret sustainability of the built environment.

On one hand, transformations in terms of both society and economics are being implemented to oppose the effects of climate change and reach climate neutrality by 2050. On the other hand, the community’s creativity and involvement are being leveraged to improve its quality of life. The “Shaping more beautiful, sustainable and inclusive forms of living together” challenge launched by New European Bauhaus aims to promote sustainable development by focusing on social inclusion values and respect for people and the environment in the scope of participation, working in accordance with the necessary systems to manage change in growingly complex conditions. As far as the area, the city, and the landscape are concerned, we must restore the dimension of “taking care of” and listening as the foundations of active communities. We can do this by introducing – firstly and with the adoption of suitable technology – the concept of “appropriate development” as a development level and mode tailor-made for a community, an area, or a landscape, also through the recovery and promotion of traditional experiences that have shown good adaptation skills when facing gradually changing situations.

The gaps between memory and innovation shall be bridged to move toward the re-construction of sustainable societies according to the new definition, and that which exists – “built” elements and the related social, cultural, and economic fabric – must be harmonized with the environment, the landscape, society, and the economy. Facing new challenges implies effort and strategies that do not have pre-set solutions, but become experimentation workshops with the end goal not only to save energy or produce clean fuel, but to build communities that consider personal wellness and respect for the environment overriding principles. In this field, architecture can play a fundamental role at all levels.

Key Words: wooden radiant floor heating, effect of wood thermal properties, transient thermal analysis.

(1) Department of Architecture and Design – Politecnico di Torino, Castello del Valentino, Viale Mattioli 39, 10125 Torino (TO), Italy. daniela.bosia@polito.it

Key points of the long-term Energy Renovation Strategy for the Building Sector in Spain (ERESEE) 2020

Aspectos clave de la Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE 2020)

Eduardo De Santiago Rodríguez¹

ABSTRACT

The long-term Energy Renovation Strategy for the Building Sector in Spain (ERESEE) 2020 is a strategic document that, in accordance with the obligation established in Directive 2010/31 / EU, aims to promote a profound transformation of the Spanish building sector in order to align it with the general objectives in terms of energy and climate established in the medium and long term for 2030 and 2050.

This paper presents its main contents. It begins by reviewing the diagnosis of the Spanish residential stock and its energy consumption. Next, the stock modeling is approached, presenting the methodology and the main results, from which a series of rehabilitation approaches are proposed, including interventions on the building envelope and on the Heating and DHW systems, calculating the associated economic costs and the energy and emission savings obtained. Various scenarios are also presented, quantifying the investments necessary for their development and the main results from the environmental point of view (energy savings and emissions), and the micro and macroeconomic perspective. Finally, the main measures proposed by the ERESEE are enunciated, concluding with a reflection on the need to articulate them from an integrated and multiscale point of view.

Key Words: Energy renovation, Energy and Climate, Building Sector, Financing, Housing.

(1) Subdirección General de Políticas Urbanas. Dirección General de Agenda Urbana y Arquitectura. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Paseo de la Castellana, 67, Despacho C-634. 28071 Madrid.

Climate change, heat island and urban quality of life

Cambio climático, isla de calor y calidad de vida urbana

Emilia Román López¹

ABSTRACT

This presentation addresses the direct relationship between the effects and consequences of climate change and the aspects that characterise urban life in our municipalities. Climate change is one of the biggest current and growing problems in the immediate future and, therefore, increases the need for change in the design and current development model of our neighbourhoods, cities, and territories, which poses a great urban, environmental, social, and economic challenge.

Consequently, it is essential to understand its effects and consequences at different scales: from the integral vision of the city to closer scales such as the neighbourhood or the building itself. Moreover, there is not only a direct relationship with energy and economic issues, but also with the comfort, health, and quality of life of a population that, on many occasions, presents a very high degree of vulnerability. In fact, climate change increases and magnifies the presence and effect of existing diseases in the most vulnerable population, mainly the elderly or those who already have chronic diseases, and therefore produces more mortality and morbidity.

In a primarily urban context, heat island is a phenomenon that will also be aggravated, as urban areas tend to have a higher temperature than the surrounding less urbanised areas. This situation is the result of progressive surface modifications, including the replacement of natural soil and vegetation by buildings and streets, and is due to the absorption of solar radiation by built and paved surfaces. These heat up and, together with other anthropogenic factors, emit heat into the surrounding air causing an increase in local temperature. The consequence is a modification of the urban microclimate that affects the comfort conditions in the outdoor space, the energy performance of buildings and thus the health and quality of life of the inhabitants.

It is therefore important to reflect on the guidelines to be followed in our neighbourhoods and cities to transform them into healthy and efficient urban areas, where the negative impacts on the quality of life of citizens are reduced through the improvement of the urban microclimate, but also through the mix of activities and the increase of complexity, the incorporation of green and blue infrastructures as an environmental vector and an enhancer of physical exercise, the improvement of mobility and accessibility through universal design, etc.

Key Words: urban heat island, climate change, microclimate, quality of life, comfort.

(1) Profesora Contratada Doctora. Departamento de Urbanística y Ordenación Territorial. Escuela de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid (DUyOT, ETSAM, UPM). Av. Juan de Herrera 4 28040 Madrid, España. ester.higuera@upm.es

Is 15 minute city healthy to everyone?

¿Es la ciudad de 15 minutos saludable para todos?

Ester Higuera¹, Elisa Pozo¹

ABSTRACT

The city of proximity combining mixed uses with residential areas is getting attention nowadays, thanks to the projects that have been implemented in Paris. The concept is the new "15-minute city". It proposes as main characteristics an active mobility, with pedestrian streets, diversity of activities and variety of land uses. All these elements are aligned with the strategy of healthy cities, as walking represents an activity that reduces the risk of cardiovascular diseases, obesity, and also reduces stress or depression. It is based on a decentralized urban model, where the districts and neighbourhoods of the city are the management and implementation unit of action. However, the research shows that not all the neighbourhoods have those advantages. In the specific context of Madrid, only certain neighbourhoods count with these characteristics, and in many others, this new model of healthier and more sustainable neighbourhoods need a deep transformation of urban renovation. The inequity in health is a reflect of different environmental disparities in the city. Also, the demographic transformation makes important to consider a specific approach in order to understand the different necessities by age. In older ages, the environment of proximity acquires a greater importance in order to maintain a good health. In this sense, there are external environmental factors (such as thermal comfort in different periods of the year, universal accessibility, air quality, security in promenades and the presence of natural spaces), as well as accessibility to services and activities, that drive the attention to the necessity to consider this concept of healthy neighbourhood under a specific approach of gerontological planning. The principal aim is to offer a good quality of life for all.

Two districts of Madrid are analysed according to the economic incomes and comparing the health indicators with urban parameters of accessibility, green infrastructure and access to the public space network and municipal equipment. A more detailed analysis is done in both districts, selecting the neighbourhoods with a higher rate of older population and studying the built environmental elements of the equipment for this specific group. These results are compared with the study "Madrid Age-Friendly City", published in 2019 by the City Council, to understand the challenges of the city for a healthy and active ageing process. The results show a lack of urban planning considering the specific needs of the older people group from the perspective of 15-minute city. There is also an unequal accessibility to enabling environments to promote active ageing in the city of healthy neighbourhoods such as: spaces for walking, with enough green spaces and places for intergenerational activities and conviviality, which are the main characteristics to achieve urban lifetime neighbourhoods for all.

Key Words: healthy city; active ageing; urban planning; sustainability; 15 minute-city

(1) Departamento de Urbanística y Ordenación Territorial. Escuela de Arquitectura de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid (DUyOT, ETSAM, UPM). Av. Juan de Herrera 4 28040 Madrid, España. ester.higuera@upm.es; e.pozo@upm.es

The footprints of buildings

Las huellas de los edificios

Madelyn Marrero¹

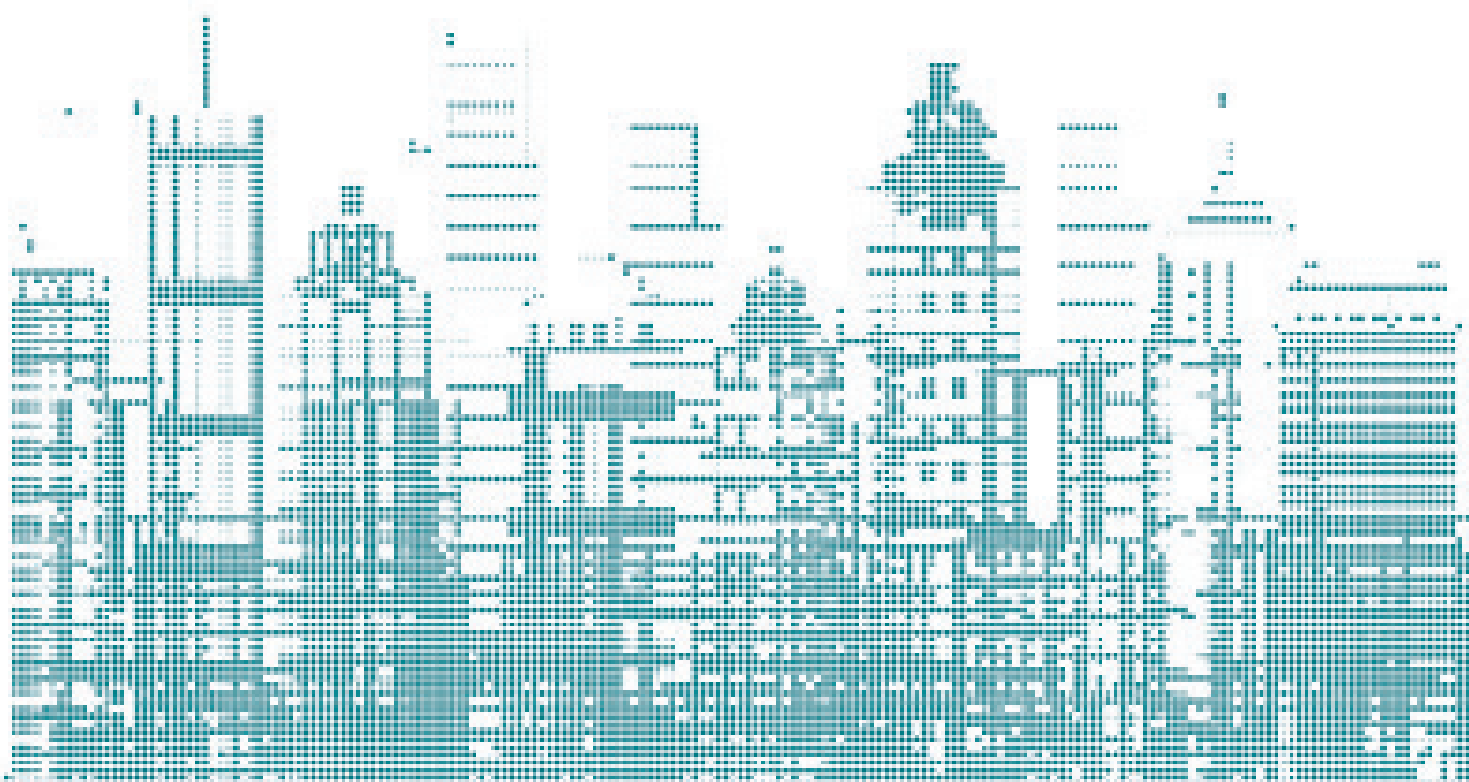
ABSTRACT

In all human activity we leave footprints, some are superficial, but others are deep and difficult to recover. There is no doubt that our construction sector leaves the second. In addition, they are prolonged in time, since buildings are constructed to last and are not static, but dependent on their interactions with the environment and its occupants. In particular, the environmental footprints of buildings are significant, or in other words, their direct and indirect resource consumption and generation of emissions and waste, throughout their life cycle. Direct consumption and impacts are understood to be those generated by the use, consumption of water and energy, and its wastewater and emissions. Indirect footprints refer to those produced by the manufacture and commissioning of construction materials, and the generation of construction and demolition waste. Determining the sources of impact allows us to objectively quantify the present and predict future effects, in order to improve the design of projects and their construction. To do this, the project budgets throughout the life cycle of the building are used as a basic source of information to define the inventory of resources. Generic life cycle analysis databases are used for environmental data, which are improved with the specific data included in the environmental declarations of individual products used. In case studies in Spain, Romania, Chile and Portugal is determined that a small group of construction products control the impacts and how, by improving their life cycle, the footprints of the projects are reduced by up to 20%. Another significant aspect identified is the enormous amount of construction waste that is generated, which can be equivalent in weight to twice the building itself. Identifying materials and processes that generate the most, and substituting them by re-usable or recycled construction material, can also reduce this impact throughout the building life cycle.

Key Words: water footprint, carbon footprint, ecological footprint, construction and demolition waste, life cycle assessment

(1) Departamento Construcciones ArquitectónicasI. Escuela de Arquitectura de Madrid. Universidad de Sevilla .madelyn@us.es

Comunicaciones Papers



Energy savings in energy refurbishment of public rental social housing

Ahorros de energía en rehabilitaciones energéticas de viviendas sociales de alquiler

Javier Llorente¹, Beatriz San Martín², Óscar Fernández³

ABSTRACT

Energy refurbishment of buildings represent one of the most relevant energy saving measures in order to achieve the ambitious objectives established by the European Commission to reduce the emission of the greenhouse gases, in the battle against global warming.

The energy renovation works in public rental social housing is the main objective of the present work, with the aim of to obtain, at the same time, a significant reduction in their energy consumption (NZEB buildings), while improving the indoor comfort of the users themselves. This measure is, without a doubt, one of the best strategies to combat energy poverty.

The present work shows the energy savings from different types of energy refurbishments in four different buildings under the framework of SustainAVility EU project. Energy efficiency measures such as thicker insulation layers in walls or the renovation of boilers were considered.

In order to obtain truthful results of the renovations to be carried out, within these four promotions, monitoring devices were put in place to register indoor air temperature and humidity. Static comfort indicators of indoor comfort such as PPD or PMV were calculated, showing different patterns of user behavior. In addition, the external temperature, humidity and solar radiation data were collected and, together with the energy bills delivered by the tenants of the dwellings to be retrofitted.

Two different methods were considered to calculate the energy savings in the buildings. The first method, consists on a calibrated energy simulation, where the indoor comfort conditions are measured, the weather conditions are also registered and the energy consumption of the dwellings is known. Several data loggers were installed in the dwellings so as to register indoor air temperature and humidity. The second method consists in a standard energy simulation based on standard energy consumption profiles and weather conditions from a typical meteorological year.

The estimated energy savings in energy refurbishment of public rental social housing using the calibrated simulation are in the range 62%-83%. The simplified method overestimates the energy saving due to the fact that the tenants' user behavior in social housing differs slightly from the standard one.

Key Words: Social housing, Energy Refurbishment, Energy Modelling, Data Analysis, Energy Savings

(1) Centro Nacional de Energías Renovables, CENER. Avda. Ciudad de la Innovación 7 – Sarriguren (Spain)

(2) Navarra de Suelo y Vivienda, S.A., NASUVINSA. Avda. San Jorge, 8 Bajo - Pamplona (Spain)

(3) Gobierno de Navarra. Parque Tomás Caballero, 1 - Pamplona (Spain)

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos marcados por la Unión Europea

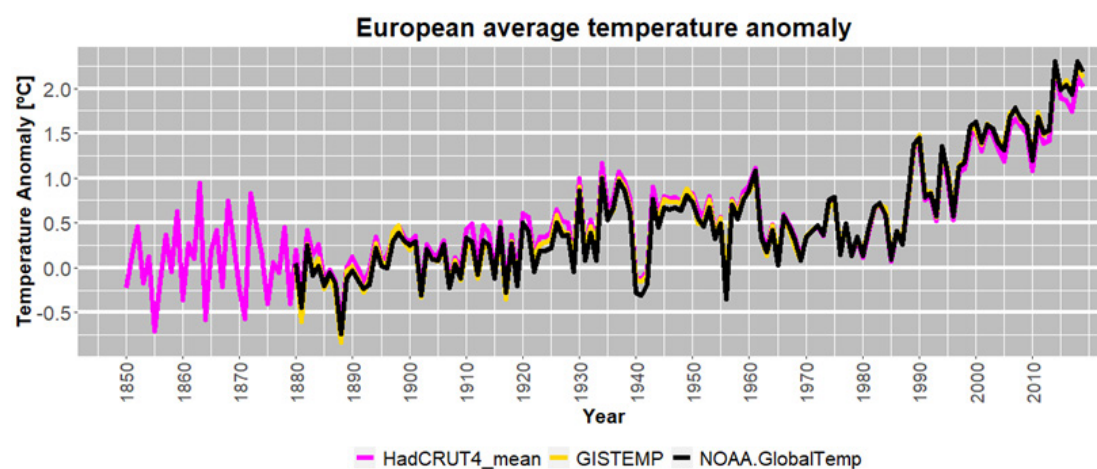
En el pasado, los negacionistas del cambio climático, se esforzaron mucho para confundir a la población acerca del calentamiento global. Sin embargo, la ciencia ha podido demostrar, basándose en datos y en el conocimiento, que hay una evidencia clara de que el calentamiento global no es un efecto transitorio y que además, está provocado por la actividad humana. Si se echa un vistazo a la evolución de la anomalía de la temperatura promedio en Europa [1], no queda duda alguna sobre el calentamiento global en Europa.

1. INTRODUCTION

1.1. European Union Objectives

In the past, climate change negationists, put a lot of effort trying to confuse the general public about climate change. Science has shown, based on data and knowledge, that there is clear evidence that global warming is not a transient effect, and that it is caused by human activity. If we have a look about the evolution of the European average temperature anomaly [1], there is no doubt about global warming in Europe.

Fig.1.
European Average
Temperature Anomaly



Las consecuencias del cambio climático se pueden identificar y cuantificar hoy en día [2], pero lo peor es que se espera que estos impactos se agraven en las próximas décadas. Por tanto, problemas globales, requieren de soluciones globales. Es por ello que la Unión Europea (EU) ratificó el Acuerdo de París, que es "el primer acuerdo universal y jurídicamente vinculante sobre el cambio climático" [3]. De cara a reducir el efecto del calentamiento global, la Comisión Europea (EC) ha aprobado el Pacto Verde Europeo, que es "un ambicioso paquete de medidas que van desde una disminución drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero, pasando por la investigación de vanguardia y la innovación, hasta la conservación del entorno natural europeo" [4]. Sobre el objetivo de reducción de las emisiones de CO₂, la EC ha aumentado el objetivo de la UE para 2030 hasta el 55%, lo que está alineado con el objetivo del Acuerdo de París de "mantener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C, y seguir con los esfuerzos para mantenerla en 1,5°C" [5] a largo plazo, para conseguir la neutralidad climática en 2050.

1.2. Ola de renovación en Europa

De cara a conseguir el objetivo de reducir el efecto del calentamiento global, debe definirse un sistema energético limpio y descarbonizado. Por tanto, es obvio que siendo el sector de la edificación uno de los mayores consumidores de energía, su impacto

The consequences of climate change can be noted and quantified nowadays [2], but the worst thing is that these impacts are expected to intensify in the coming decades. Therefore, global problems require global solutions. That is why the European Union (EU) ratified the Paris Agreement, which is "the first-ever universal, legally binding global climate change agreement" [3]. In order to reduce the effect of global warming, the European Commission (EC) has set the European Green Deal, which is "an ambitious package of measures ranging from ambitiously cutting greenhouse gas emissions, to investing in cutting-edge research and innovation, to preserving Europe's natural environment" [4]. Regarding the CO₂ emissions reduction objective, the EC has increased the EU's target for 2030 towards 55% which is aligned with the Paris Agreement objective to "keep the global temperature increase to well below 2°C and pursue efforts to keep it to 1.5°C" [5] in the long term, by 2050 the EU intends to become climate neutral.

1.2. Renovation wave

In order to pursue the objective to reduce the global warming effect, a decarbonised and clean energy system has to be defined. Then, it is obvious that being the building sector one of the main energy consumers in the EU, its energy impact has to be lowered, and that can be achieved through the energy refurbishment of the inefficient buildings.

energético debe reducirse, y esto podría ser logrado a través de la rehabilitación energética de los edificios ineficientes. La EC ha diseñado una estrategia denominada "A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives" [6] para impulsar la renovación energética de edificios, doblando el ratio actual de rehabilitaciones anuales. Esta estrategia permitiría crear 160.000 puestos de trabajo, y sería una importante medida para luchar contra la pobreza energética [7], que es una forma distinta de pobreza que se caracteriza por las dificultades para mantener una condiciones de vida decentes en las viviendas, y se hace visible a través de los problemas existentes para calentar, refrigerar (así como otros consumos energéticos como iluminación) las viviendas.

1.3. Proyecto SustaiNAVility

Las distintas regiones europeas deben centrarse en alcanzar los objetivos marcados por la UE. Navarra, una región en el Norte de España, dispone de un plan energético para el año 2030 [8] que está comprometido con los objetivos de la UE. En este sentido, para promover el plan energético en el área de la eficiencia energética reduciendo el consumo de energía primaria, se puso en marcha el proyecto europeo SustaiNAVility (H2020 project) [9]. El proyecto promociona la eficiencia energética en la región centrándose en 3 grupos objetivo distintos, entidades públicas (municipios y edificios públicos), edificios privados (ciudadanos) y empresas, para una movilización de 16,3 millones de euros en inversiones en energías renovables y eficiencia energética. Uno de estos grupos se centró en la rehabilitación energética de edificios públicos de alquiler social.

2. REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

Cuatro edificios públicos residenciales se rehabilitaron en el marco del proyecto SustaiNAVility. Todos ellos son propiedad de NASUVINSA, la entidad pú-

The EC has defined a strategy named "A Renovation Wave for Europe – Greening our buildings, creating jobs, improving lives" [6] to boost the energy renovation of buildings, doubling the current renovation ratio. This strategy would also allow the creation of 160,000 jobs, and an important measure to fight against energy poverty [7], which is a distinct form of poverty characterized by the difficulties to maintain a decent standard of living and citizens' health in homes and is visible through the problems to provide adequate warmth, cooling (plus lighting and others) to the homes.

1.3. SustaiNAVility project

The different regions in Europe should be focused towards the EU objectives. Navarre, a region in the North of Spain has a clear energy plan "Navarra for 2030" [8] which is committed with the EU objectives. In that sense, in order to promote the energy plan in the area of energy efficiency reducing the primary energy consumption, SustaiNAVility project (H2020 project) was developed [9]. The project promotes the energy efficiency in the region in 3 target groups, public entities (municipalities and public buildings), private buildings (citizens) and enterprises, with a mobilization of 16.3 million euros in investments in renewable and energy efficiency. One of these target groups was focused on the energy renovation of public rental social buildings.

2. ENERGY RETROFITTING

In the framework of the European Project, SustaiNAVility, 4 public residential buildings were retrofitted. All of them are owned by NASUVINSA, the public entity which manages social housing in Navarra [10]. The buildings (blue points in the next figure) are located in different Navarra's municipalities. They are located in social neighborhoods, where medium or low incomes' families live.

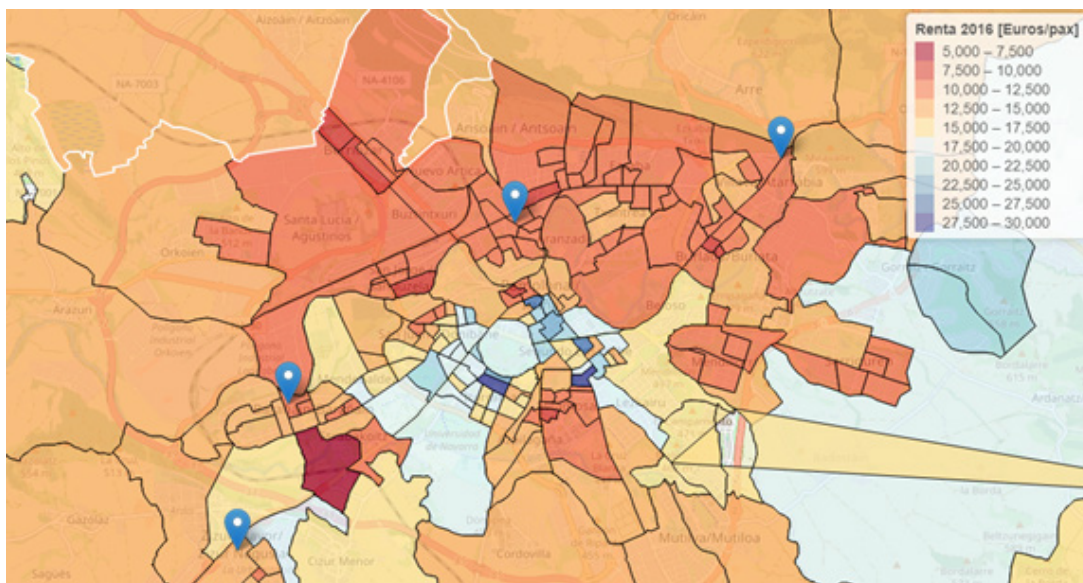


Fig.2. Location of sustaiNAVility's residential buildings

blica que gestiona la vivienda social en Navarra [10]. Los edificios (puntos azules en la figura siguiente) se localizan en distintos municipios de Navarra, en barrios en los que los ingresos económicos por persona son medios o bajos.

2.1. Descripción de los edificios

Todas las obras de rehabilitación del parque residencial público que se han contemplado en el proyecto SustaiNAVility tienen como objetivo la mejora en la calidad de vida de las personas que las habitan, la reducción en el consumo energético y la reducción de gases efecto invernadero. Son rehabilitaciones que buscaban convertir los edificios en Edificios de Consumo Casi Nulo (ECCN).

-29 viviendas en Plaza Río Arga (Barañain)

Se trata de una promoción compuesta por 3 portales construidos en 1990. La envolvente térmica de los edificios está compuesta de ladrillo macizo con mortero raseado, carpintería metálica con vidrio simple y cubierta inclinada con escaso aislamiento.

-20 viviendas en Rochapea (Pamplona)

Se trata de una promoción compuesta por 2 portales construidos en 1992. La envolvente térmica de los edificios está compuesta de ladrillo cara vista en fachada, carpintería metálica con vidrio simple, cubierta inclinada con escaso aislamiento, y cubierta plana para los casetones de los ascensores.

-4 viviendas en Calle Compañía (Pamplona)

El edificio en su estado inicial se componía de fachadas de fábrica de ladrillo, cubierta inclinada a una sola agua con teja árabe y estructura de madera, huecos abalconados compuestos por carpintería de madera y vidrio.

- 15 viviendas en Calle Imprenta (Estella)

Este edificio a diferencia del resto tenía mejor conservación. Su envolvente térmica se componía de Muro de carga de 26 cm terminado con raseo de mortero lucido y pintado, cubiertas a dos aguas con escaso aislamiento y carpintería metálica.

2.2. Rehabilitación energética

Las 4 rehabilitaciones energéticas han contemplado la mejora de la envolvente térmica de los edificios. Primeramente, se ha colocado aislamiento en cada una de las fachadas de hasta 12 cm. Además, se han renovado todas las carpinterías exteriores, bien sea con carpinterías metálicas o de PVC, sustituyendo vidrio simple, por vidrio doble. Por otro lado, las cubiertas han visto incrementado su aislamiento de cara a cumplir con los objetivos marcados y legales.

2.1. Description of the buildings

SustaiNAVility's renovation works are aimed at improving the quality of life of their residents, the reduction of the energy consumption and the reduction of GHG emissions. The target is to reach the concept of nearly Zero Emissions Buildings (nZEB).

-29 dwellings in Plaza Río Arga (Barañain)

These works are located in three buildings constructed in 1990. The thermal envelope of these buildings consisted of solid brick with cement solar, metal windows with simple glass, sloping roof with lack of insulation.

-20 dwellings in Rochapea (Pamplona)

These works are located in three buildings constructed in 1990. The thermal envelope of these buildings consisted of face brick, metal windows with simple glass, flat roof with lack of insulation and sloping roof in elevators' holds.

-4 dwellings in Calle Compañía (Pamplona)

This building in its initial state consisted of brick facades, a sloping roof with a single waterway with Arabic tile, a wooden structure and balcony openings made up of wood and glass windows.

-15 dwellings in Calle Imprenta (Estella)

This building, unlike the others, had better conservation. Its thermal envelope consisted of a 26 cm load-bearing wall finished with polished and painted mortar plating, sloping roofs with little insulation and metallic frame window.

2.2. Energy retrofitting

All the renovation works consisted on the improvement of the thermal envelope of the buildings. Firstly, until 12 cm of thermal insulation was added. Moreover, all the windows have been renovated, in metal or in PVC, replacing single glass with double glass. On the other hand, the roofs' insulation has been increased in order to comply with the established and legal objectives.

Electricity consumption in the common areas has been reduced through the installation of presence detectors and LED luminaires.

Regarding the energy installations, in two of the developments (Barañain and Rochapea) a temperature monitoring and control system has been incorporated (setpoint temperature, effective temperature of the house throughout the day), relative humidity and CO₂ concentration.

In addition, to ensure the correct operation of the

El consumo eléctrico de las zonas generales se ha reducido ya que se han instalado detectores de presencia y luminarias LED.

En cuanto a las instalaciones de energía, en dos de las promociones (Barañáin y Rochapea) se ha incorporado un sistema de monitorización y control de temperatura (temperatura de consigna, temperatura efectiva de la vivienda a lo largo de todo el día), humedad relativa y concentración de CO2. Además, para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de ventilación con Recuperador de Calor que se han instalado, se han colocado sondas que controlen la temperatura de extracción y de admisión de aire, así como la temperatura exterior. Asimismo, se registra el consumo de electricidad de la ventilación mecánica. En cuanto a la calefacción, salvo en la promoción de Barañáin, se ha actuado en todos los equipos. Por una parte, en Rochapea y Estella se han colocado calderas individuales de condensación.

ventilation systems with Heat Recovery that have been installed, probes have been placed to control the air intake and extraction temperature, as well as the outside temperature. Likewise, the electricity consumption of mechanical ventilation is recorded.

Talking about heating, except for the Barañáin promotion, action has been taken on all teams. On the one hand, individual condensing boilers have been installed in Rochapea and Estella. On the other hand, in Calle Compañía, individual aérothermal equipment has been installed to supply heating and DHW.

Finally, to finish with these renovations, works have been carried out to improve accessibility in buildings, either through the placement of new elevators, or the execution of slope descents.


BARAÑÁIN (1)
Plaza Río Arga 14-15-16
29 dwellings

Energy retrofitting of thermal envelope
Heat recovery ventilation system.
Monitoring and installation management



PAMPLONA (2)
C/ Cruz de Barcacio 6-8
20 dwellings

Energy retrofitting of thermal envelope
Heat recovery ventilation system.
Monitoring and installation management
Heat boilers' renovation



PAMPLONA (3)
C/ Compañía, 3
4 dwellings

Energy retrofitting of thermal envelope
Monitoring and installation management
New aérothermal equipment
Dwellings renovation



ESTELLA (4)
C/ Imprenta, 3
15 dwellings

Energy retrofitting of thermal envelope
Monitoring and installation management
New condensation boilers
Dwellings renovation



Fig.3. Retrofitting buildings

Por otro lado, en Calle Compañía se han instalado equipos de aerotermia individuales que abastecen de calefacción y ACS.

Finalmente, para terminar con estas rehabilitaciones, se han realizado obras para la mejora de la accesibilidad en los edificios, bien sea mediante la colocación de nuevos ascensores, o la ejecución de bajadas de rasante.

3. MONITORIZACIÓN

Se definió una campaña de monitorización con el objetivo claro de calcular los ahorros energético en los edificios como consecuencia de la rehabilitación energética llevada a cabo. No solo debe monitorizarse el consumo de energía, sino que también deben medirse otros parámetros que tienen una gran influencia en el consumo de energía de calefacción como las variables meteorológicas o las condiciones de confort interiores.

3.1. Condiciones meteorológicas

Para unas condiciones de confort interior similares, en climas fríos el consumo de energía es mayor. Por lo tanto, varias variables meteorológicas como la temperatura del aire, la humedad relativa y la radiación solar en horizontal se obtuvieron de la estación meteorológica de Gobierno de Navarra más cercana [11].

3. MONITORING

A monitoring campaign was defined, with the clear objective of calculating the energy savings in the buildings as a consequence of the energy renovation carried out. Not only the energy consumption had to be measured, but also other parameters that have strong influence on the heating consumption such as meteorological variables or indoor conditions.

3.1. Exterior conditions

In the case of the same indoor comfort conditions, colder climates require more energy consumption. Therefore, different meteorological parameters such as air temperature, relative humidity and solar radiation on the horizontal were obtained from the closest meteorological station property of Government of Navarre [11].

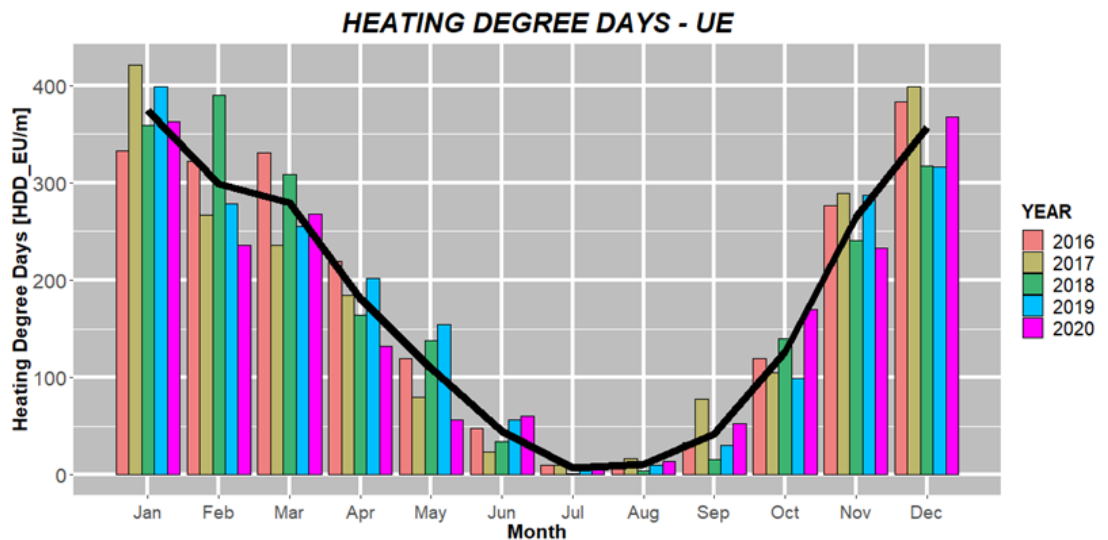
An indicator to measure winter climate severity is the heating degree days [12]. This indicator is calculated as follows:

If $T_{im} < 15^{\circ}\text{C}$ then $[\text{HDD_EU} = \sum(18^{\circ}\text{C} - T_{im})]$ else $[\text{HDD_EU} = 0]$

T_m : Daily mean temperature of day i

In Navarra, according with Köppen-Geiger classification [13], the climate is Cf2b characterized by

Fig.4.
Monthly Heating Degree-Days in Pamplona



Un indicador para medir la severidad climática en invierno son los grados día de calefacción [12]. Este indicador se calcula de la siguiente manera:

If $T_{im} < 15^{\circ}\text{C}$ then $[\text{HDD_EU} = \sum(18^{\circ}\text{C} - T_{im})]$ else $[\text{HDD_EU} = 0]$

T_m : Temperatura media del día i

En Navarra, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger [13], el clima es de clase Cf2b que se caracteriza por temperaturas suaves y veranos

mild temperatures, and cool summers. Even if heating season is the predominant one, the HDD_EU in a year are around 2,000 HDD/y, low in comparison with most of the regions in Europe.

Data from solar radiation in the horizontal was converted into diffuse and direct radiation on slope using Reindl correlation, and other mathematical expressions [14].

3.2. Temperature & Humidity – PMV

A number of data loggers were installed in 17 se-

frescos. Incluso aunque la temporada de calefacción sea la predominante, los grados día de calefacción en un año son aproximadamente 2.000, un valor bajo comparándolo con la mayoría de regiones en Europa.

Los valores de radiación solar en horizontal se convirtieron en datos de radiación directa y difusa sobre plano inclinado, haciendo uso de la correlación de Reindl así como de otras expresiones matemáticas [14].

3.2. Temperatura y Humedad – PMV

En 17 viviendas seleccionadas, se instalaron data loggers para definir los patrones de comportamiento de los inquilinos. Estos data loggers [15] se colocaron en los salones de las viviendas y registran la temperatura y la humedad relativa. El Predicted Mean Vote, PMV, puede obtenerse a partir de estos datos, empleando el método de Fanger [16], y considerando varias estimaciones tomadas de normas reconocidas [17] [18]. A partir del PMV se obtiene una clasificación de las condiciones de confort interior a partir de ASHRAE-55 [19].

Tomando los datos horarios medidos en un año, es posible determinar el confort alcanzado en las viviendas. Pueden detectarse las viviendas en las que el nivel confort estándar no se alcanzó en muchas horas del año.

La figura anterior, muestra una nube de puntos negra, que se corresponde con los registros de temperatura y humedad horarios en un año. Se aprecia que en ciertas viviendas como STH-006, STH-011, STH-013, STH-016 o STH-017, la percepción del confort interior desde el punto de vista de un usuario es-

lected dwellings to define user behaviour patterns. Those data logger [15] were located in the living room, and monitor temperature and relative humidity conditions. The Predicted Mean Vote, PMV, can be obtained from these data using Fanger method [16], and considering certain estimations based on different standards [17] [18]. From this indicator (PMV) the indoor comfort conditions can be classified using ASHRAE-55 [19].

PMV	ASHRAE-55
$X \geq 2,5$	Hot
$1,5 \leq X < 2,5$	Warm
$0,5 \leq X < 1,5$	Slightly warm
$-0,5 \leq X < 0,5$	Neutral
$-1,5 \leq X < -0,5$	Slightly cool
$-2,5 \leq X < -1,5$	Cool
$X \leq -2,5$	Cold

Taking hourly measured data along a year, it is possible to determine the class of level comfort in buildings and detect dwellings where the standard indoor comfort conditions were not fulfilled.

The previous figure shows a point cloud for every dwelling, which corresponds to the hourly data measurements of temperature and relative humidity along a year. It can be noted that certain dwellings, such as STH-006, STH-011, STH-013, STH-016 or STH-017, the perception from a standard building user point of view, would be that the ambient is cool and some hours cold. This is of high importance to detect those dwellings with risk of energy poverty. The indoor comfort conditions are more severe than in the rest of dwellings. This could lead to the appearance of adverse consequences for people’s health and wellbeing.

Fig.5. Comfort classification according with ASHRAE-55

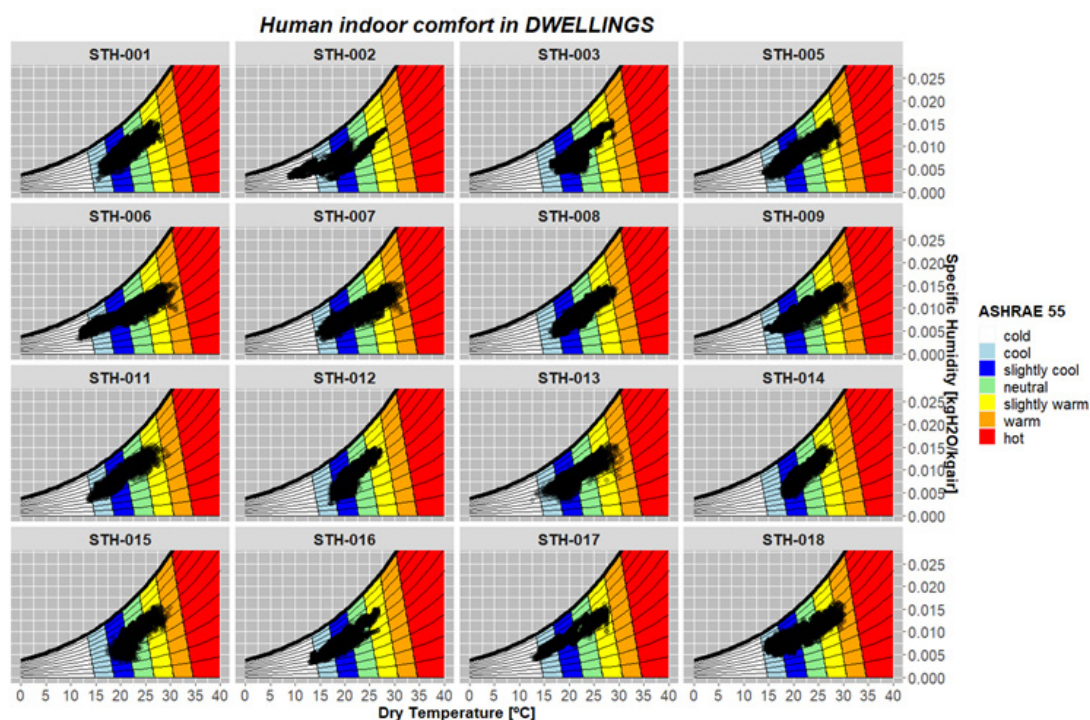
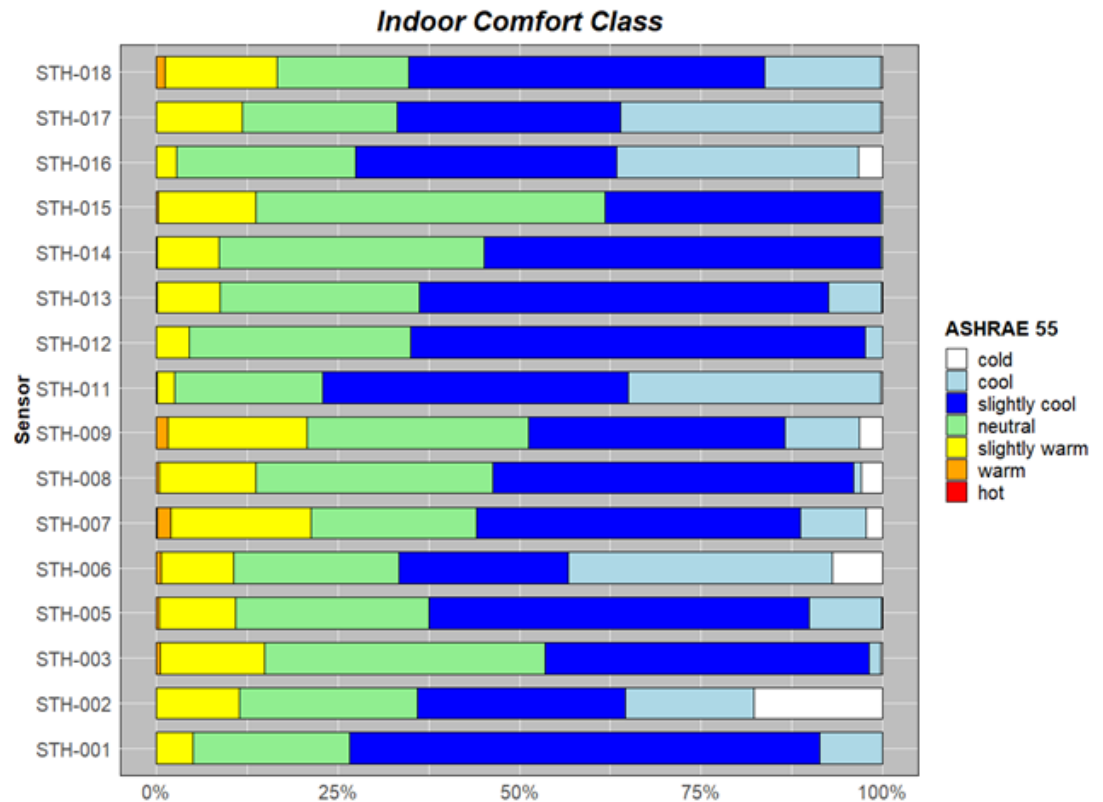


Fig.6. Indoor comfort conditions in dwellings in a year and classification according with ASHRAE-55.

Fig.7.
Indoor comfort in dwellings
according with ASHRAE-55



tándar sería que el ambiente es fresco y en algunos momentos frío. Esto tiene gran importancia para identificar aquellas viviendas en situación de riesgo de pobreza energética. Las condiciones de confort interior son más duras que en el resto de viviendas. Esto podría llevar a la aparición de ciertos síntomas en la salud y bienestar de los inquilinos.

La siguiente figura muestra el reparto de las horas según el confort térmico, y se aprecia que en la mayoría de los casos, el confort predominante es "slightly cool".

3.3. Consumo de energía

El objetivo es el de calcular los ahorros de energía en los edificios rehabilitados. Por esta razón, el consumo de energía en los edificios debe medirse. El mayor desafío es que dado que se va a llevar a cabo una rehabilitación energética, la única posibilidad de tomar los datos de consumo de energía pasa por tomar los datos de las facturas energéticas de los inquilinos. El consumo de gas natural se emplea para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria (ACS) y la demanda de calefacción. No todos los inquilinos de las viviendas guardaron las facturas, por lo que el estudio tuvo que realizarse con los datos disponibles.

Para el caso de las viviendas que sí guardaron las facturas energéticas, se analizó la influencia que tiene la severidad climática de invierno en el consumo de energía. La siguiente figura muestra la relación existente entre ambos términos para las viviendas analizadas:

The following figure shows the hourly distribution according with the indoor comfort in dwellings. It can be noted that the most frequent status is "slightly cool".

3.3. Energy consumption

The objective is to calculate the energy savings in the renovated buildings. This way, the energy consumption in the buildings has to be measured. The most challenging point is that, because an energy refurbishment is to be carried out, the only possibility to get energy consumption data comes from the option to take the natural gas energy bills from the building users. The consumption of natural gas is used to satisfy Heating and Domestic Hot Water (DHW) demand. Not all the tenants kept the energy bills, so the study had to be done with the available data.

In the case of those dwellings that kept the energy bills, the influence between the energy consumption over a certain period of time, and the winter severity in terms of heating degree days is analysed. The following figure shows this relationship for those dwellings:

It is clear that there is a strong correlation between energy consumption and heating degree days, and a mathematical model will be developed for every dwelling, to be able to predict the energy consumption under certain weather conditions.

A simple linear regression model is developed, due to the fact that a good adjustment is obtained. The mathematical model is as follows:

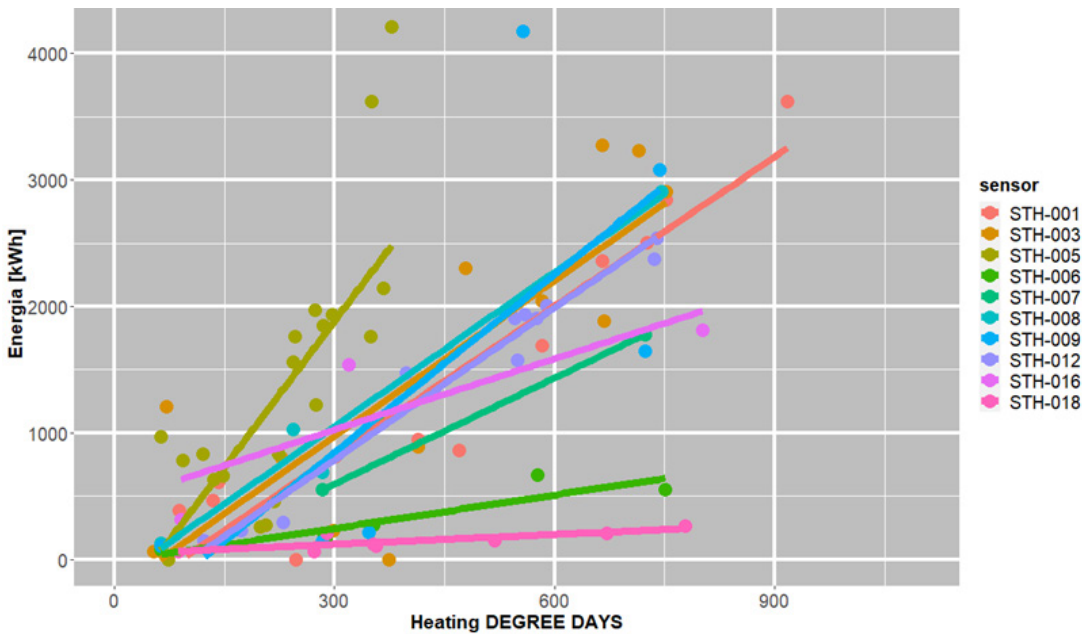


Fig.8. Mathematical model of the energy consumption vs Heating Degree-Days

Se aprecia una relación directa entre consumo de energía y grados día de calefacción, y se define un modelo matemático para cada vivienda, de cara a poder predecir el consumo de energía bajo ciertas condiciones meteorológicas. Se emplea un modelo de regresión lineal simple, ya que se logra un buen ajuste.

$$Energy\ consumption\ [kWh] = m * HDD_{EU} + b$$

donde m : pendiente; b : origen

$Energy\ consumption\ [kWh] = m * HDD_{EU} + b$
Where m: Slope; b: Origin

4. AHORROS DE ENERGÍA

El cálculo de los ahorros de energía después de que una medida de ahorro de energía haya sido implantada conlleva ciertas dificultades, debido al hecho de que las condiciones que afectan al consumo de energía varían a lo largo del tiempo, y se inducen errores en el cálculo en caso de que se haga la resta de consumos de energía. La siguiente figura muestra la evolución del consumo de energía antes y después de que una medida de mejora de la eficiencia

4. ENERGY SAVINGS

The calculation of the energy savings after an energy refurbishment is carried out presents different difficulties, due to the fact that the conditions that affect the energy consumption after and before usually vary, and calculation mistakes would be introduced in case a simple subtraction is done. The following figure shows the evolution of the energy consumption before and after an energy efficiency measure is installed.

The IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol) Protocol, developed by EVO (Efficiency Valuation Organization) is the most employed protocol to measure and verify the energy savings, and to properly proceed in the calculation of the energy savings, this protocol will serve as reference.

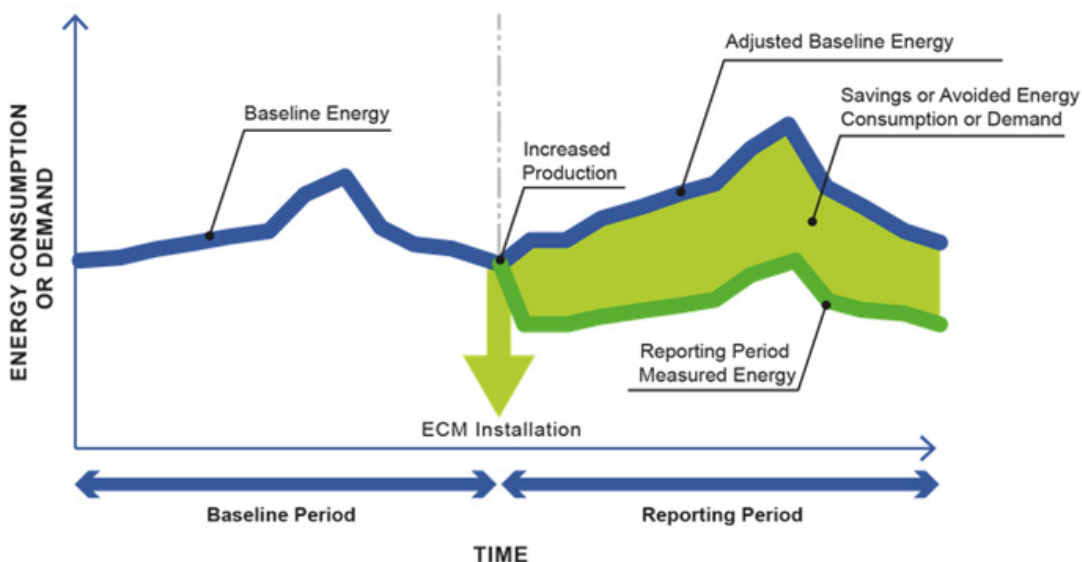


Fig.9. Energy consumption before and after an energy refurbishment. Source: Efficiency Valuation Organization [20]. Fuente: Efficiency Valuation Organization [20]

energética se implante:

El protocolo IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol), desarrollado por EVO (Efficiency Valuation Organization) es el protocolo de medida y verificación de ahorros de energía más empleado y servirá de referencia. El protocolo IPMVP define cuatro opciones distintas para realizar los cálculos. En nuestro caso, se aplicará uno de ellos, la simulación calibrada.

4.1. Certificado Energético

Debido a las complejidades existentes en el proyecto, los datos de consumo de energía de dos de los edificios fueron imposibles de conseguir. Por ejemplo, en uno de estos edificios, el uso que tenía dicho edificio no era residencial antes de la rehabilitación, por lo que calcular los ahorros no tendría mucho sentido.

Por tanto, se emplearon el EPC (Certificado Energético) de los edificios antes y después de las rehabilitaciones energéticas para calcular los ahorros de energía. Se tomaron los resultados de los EPC realizados por la empresa correspondiente. El mayor inconveniente de emplear este método es que el patrón de uso de las viviendas se asume como estándar, de acuerdo con el Código Técnico de la Edificación. [21]. Esto implica que los inquilinos de los edificios se comportan de la misma manera y tienen las mismas consignas de temperatura interior. Ésta es una solución válida cuando es imposible disponer de otra información alternativa acerca del patrón del consumo energético. Además, las condiciones meteorológicas son las mismas antes y después de la reforma. La herramienta informática empleada en este caso fue CE3X [22].

Este método no lo considera el IPMVP, y dependiendo del tipo de inquilino en las viviendas, el método podría sobreestimar o subestimar los consumos de energía y por tanto, los ahorros de energía. En caso de viviendas sociales con personas con bajos ingresos, las condiciones de confort están normalmente por debajo de las estándar o recomendadas, por lo que la demanda de energía calculada por este método tiende a sobreestimar el consumo de energía real.

4.2 Simulación energética calibrada

Este método corresponde con la opción D del IPMVP "simulación calibrada". En este caso, se dispone de las condiciones interiores de confort, para definir un perfil de demanda de energía horario. Además, los datos meteorológicos son conocidos con frecuencia diezminutal. Finalmente, el consumo de energía en distintas viviendas se obtiene a partir de las facturas energéticas.

La siguiente figura muestra el procedimiento segui-

The IPMVP defines four different methods to do the calculations. In our case, we will apply one of them, the calibrated simulation.

4.1. Energy Performance Certificate

Due to complexities in the project, data about energy consumption in two of the buildings were impossible to get. For example, one of the buildings under study had a different use (not residential) before the energy renovation.

Therefore, the EPC (Energy Performance Certificate) of the buildings before and after the refurbishment were used to calculate the energy savings. The main inconvenience from this method is that the user behaviour pattern is assumed as standard, according with the National Building Code [21]. This means that the tenants of the buildings have the same user profile considering setpoint temperatures. This is a valid solution to compare different energy saving measures alternatives when it is impossible to have any other information from the energy consumption pattern. Besides, the weather input is constant, so there is no a variation of the meteorological data. The energy software employed was CE3X [22].

This method is not considered in the IPMVP, and depending on the type of tenant in the dwellings, the method could overestimate or underestimate the energy consumptions and therefore the energy savings. In the case of low income buildings, the indoor comfort conditions are normally below the standard ones, so the energy demand by this means of calculation tends to overestimate the real energy consumption.

4.2. Calibrated Energy Simulation

This method corresponds to option D of IPVP "calibrated simulation". In this case, data of indoor conditions are available, to define an hourly energy demand profile. Besides, the exterior weather conditions are known in a 10 min frequency. Finally, energy consumption in different dwellings is obtained from energy bills.

The following figure shows the calculation procedure followed to define the energy savings in the building.

The energy software used in this case was TRNSYS [23], an international recognized tool for transient energy systems. To start working with the calibration process, the technical characteristics (wall areas, heat transfer coefficients...) of the building are known, and a virtual building is created according with the size of wall, windows and heated area, among others.

Then, the meteorological data from the weather station are introduced in the energy model. The values introduced are exterior temperature, relative humi-

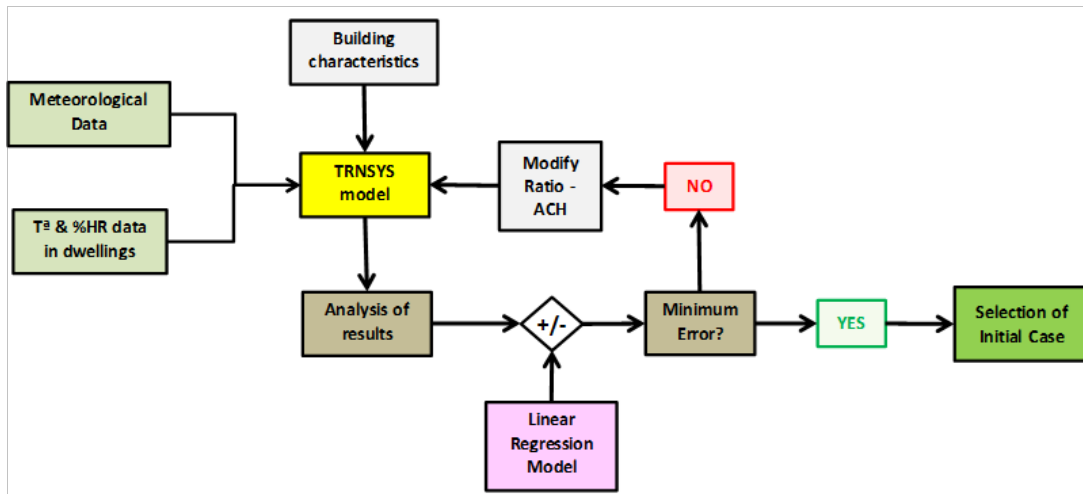


Fig.10. Process to calibrate an energy simulation

do para el cálculo de los ahorros de energía en los edificios.

El programa de cálculo empleado en este caso es TRNSYS [23], una herramienta informática de reconocido prestigio internacional para el estudio de sistemas energéticos en estado transitorio. En primer lugar, se dispone de las características técnicas del edificio. Con las mismas, se define el modelo del edificio, introduciendo los valores que definen las dimensiones de las fachadas, huecos y superficie interior; así como las propiedades aislantes de los muros.

A continuación, se introducen en el modelo, los valores reales de los datos meteorológicos. Se introduce la temperatura exterior, humedad relativa y la radiación solar para las distintas superficies.

El siguiente paso, es el de introducir las temperaturas registradas por los sensores de temperatura y humedad en el interior. De esta manera, se vinculan los sistemas de climatización a las necesidades existentes para mantener dichas condiciones de confort interior.

Introduciendo unos valores iniciales de las cargas internas y de las renovaciones hora en las viviendas, se ejecuta la simulación energética. A los datos obtenidos de demanda de energía, hay que incluir la demanda de agua caliente (según CTE) y se convierte en consumo de energía, con el rendimiento estacional estimado, obtenido a partir de las certificaciones energéticas de las viviendas.

Con el modelo de regresión inicial que se ha desarrollado previamente para cada vivienda, se calcula para los grados-día de calefacción del mes considerado cuál sería el consumo de energía. Se realiza la comparativa entre simulación y modelo de regresión.

Se calcula la diferencia para los casos en los que los HDD mensuales son superiores a 50, y se analiza si el error promedio cuadrático (MSE) y el error promedio absoluto (MAE) son aceptables. En caso contrario, se

calcula la demanda de calefacción y la radiación exterior exterior walls. The next step is to introduce the indoor temperatures and relative humidity registered by the data loggers. This way, the link between the HVAC systems and the energy needs is created, in order to maintain the registered comfort conditions.

Through the introduction of initial values for the equipment and lighting loads, and for the ventilation and infiltration rates, the energy simulation in transient regime is carried out. The heating demand is calculated. Then, the energy demand for DHW (according with Building code) is calculated, and the sum of both values is converted into energy consumption, dividing the energy demand by the seasonal efficiency of the boiler, obtained through the energy certifications.

The linear regression models defined previously for every dwelling, are useful to calculate the energy consumption using as input the heating degree days for certain month. Then, the comparison between the results from the energy simulation and the energy consumption calculated using the regression models is done.

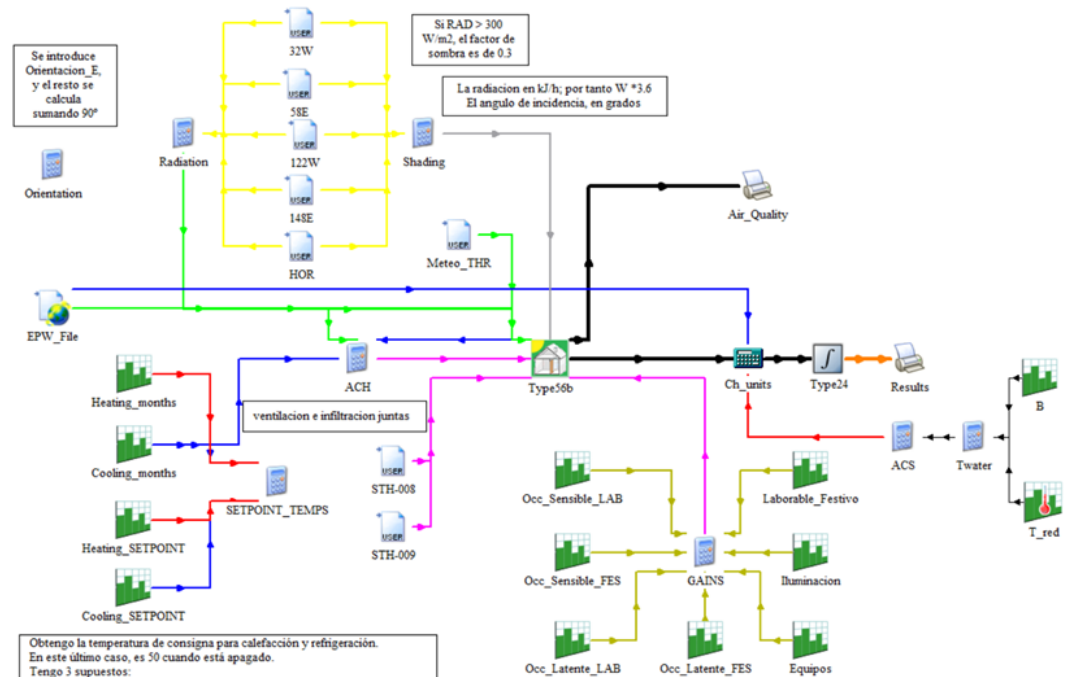
For those months when the heating degree days are higher than 50 (in the rest of months, no heating demand is expected, only DHW) the mean square error and the absolute error are calculated. Then, a new value for the ratio of internal loads and the air infiltration rate is defined and the energy simulation is calculated. The energy simulation whose results are the best (lowest mean absolute error, MAE, and lowest mean square error, MSE) is defined as the initial case, and the energy simulation model is calibrated.

Once the combination of air infiltration and the ratio of internal loads is defined, a new model of the build-

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |Y_i - \hat{Y}_i|$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Fig. 11.
Energy simulation model in TRNSYS



ejecuta una nueva simulación, variando las renovaciones de hora en el edificio, o el ratio de las cargas internas

Una vez se encuentra la combinación propicia de renovaciones hora y ratio de cargas internas, se realiza el nuevo modelo del edificio. En este caso, el ratio de

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_i^n |Y_i - \hat{Y}_i|$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

cargas internas permanece constante, y se reduce el valor de renovaciones hora, al haber renovado la fachada. Posteriormente, se calculan los ahorros para las mismas condiciones que las consideradas en la calibración del modelo.

5. RESULTADOS

5.1. Certificado Energético

Si bien el certificado energético ha sido calculado para los cuatro edificios, son dos los edificios cuyos ahorros de energía se calculan de esta manera. Los resultados para uno de los edificios son los siguientes.

El certificado energético del edificio indica que tiene clasificación energética B, lo que implica que ha mejorado su calificación desde la clase F. Se estima que para este caso, los ahorros de demanda de energía son del 81%, lo que muestra que la eficacia de las medidas de mejora de la eficiencia energética son muy prometedoras. Los resultados del otro edificio (en C/Compañía, Pamplona) son todavía mejores, debido a que la renovación energética es más ambiciosa, y además, el punto de partida era peor.

Los ahorros estimados en la demanda de calefacción

con la características de la nueva construcción se define. En este caso, el ratio de las cargas internas es constante, y la tasa de infiltración de aire se reduce.

5. RESULTS

5.1. Energy Performance Certificate

Even if the EPCs were calculated for the four buildings under study, the calculation of the energy savings through the EPC were only carried out in two of them. The results for one of the buildings are the following:

The energy performance certificate of the buildings shows a B energy efficiency class, which means that the building has improved from an F class. The energy demand savings are calculated to be of 81%, which shows that the energy efficiency measures are very promising. The results from the other building (in C/Compañía, Pamplona) are slightly better due to the fact that the energy renovation is more ambitious, and the starting point is even worse.

The estimation of the savings in the heating demand in the four buildings range from 79% to over 90%, as can be seen in the image below of the previous figure.

5.2. Calibrated Simulation

After the description of the process described previously, the infiltration and ventilation rate varies in the range between 0.10 and 2.0 ACH (air changes per hour); and the ratio of the electrical consumption varies between 0.50 and 1.60. The electrical ratio weights the electrical consumption in the dwelling with respect to the user profiles described in the Building Code, so a value of 0.50 means that the tenant in

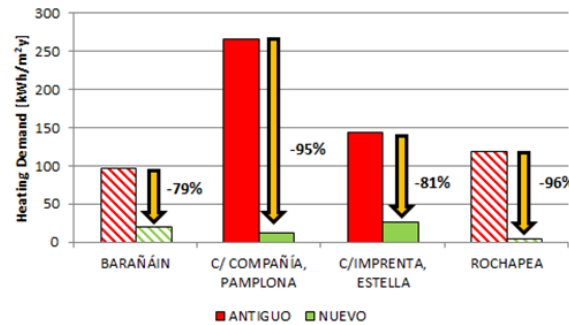
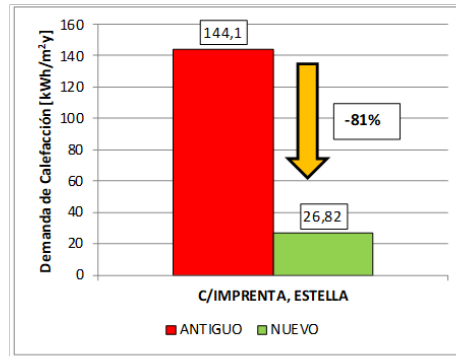
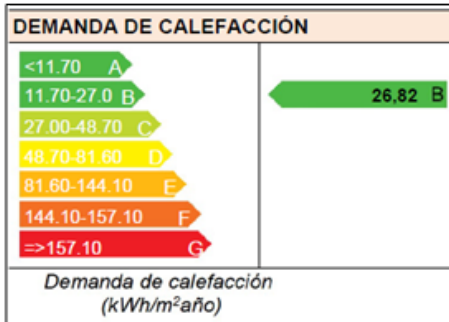
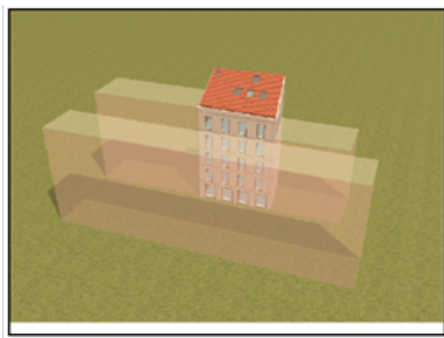


Fig. 12. Energy demand before and after an energy refurbishment

según este procedimiento, en los cuatro edificios van desde el 79% a más del 90%, tal y como puede verse en la imagen inferior de la figura anterior.

5.2. Simulación Calibrada

Tras la descripción del proceso comentado anteriormente, la tasa de infiltración y ventilación se varía en el rango de 0.10 a 2.0 ACH (ACH, renovaciones por hora); y el ratio del consumo eléctrico varía entre 0.50 y 1.60. El ratio de consumo eléctrico pondera el consumo eléctrico en la vivienda con respecto a los perfiles de uso indicados en el CTE, por lo que un valor de 0.50 significa que el inquilino de la vivienda tiene un consumo de energía eléctrica para iluminación y equipamiento que es el 50% del consumo de energía descrito en el CTE. La siguiente figura muestra el ajuste entre los datos medidos y los resultados de la simulación energética con los valores con menor MSE.

Se puede apreciar que los ahorros de energía en demanda de calefacción se estiman en un 62%, siendo

the dwelling has an electrical consumption in equipment and lighting which is the 50% of the electrical consumption described in the Building Code. The following figure shows the adjustments between the measured data and the energy simulation with the lowest MSE.

In the previous figure, it can be seen that the energy savings in heating demand are estimated to be 62% while the total energy savings are 45%. In the other building, the results are higher (around 83% in heating demand). Therefore, energy renovation in social housing is a good measure to reduce energy con-

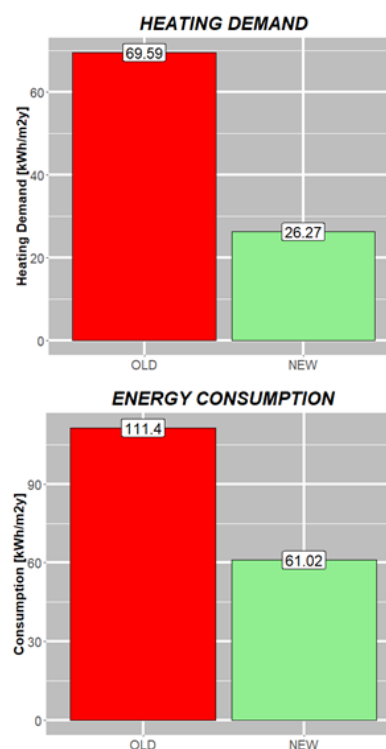
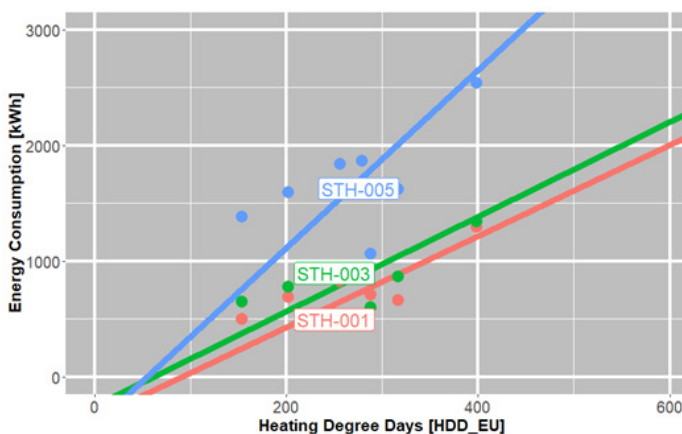


Fig. 13. Adjustment between simulation results (dots) and regression of energy model (line) [top]. Results and energy savings in heating demand and energy consumption [bottom]

del 45% en el consumo total de energía, incluyendo ACS. En el otro edificio, los resultados son todavía mayores, un 83% de ahorro en demanda de calefacción. Por tanto, la rehabilitación energética en viviendas sociales es una buena medida para reducir el consumo de energía y luchar contra la pobreza energética.

Un menor consumo energético, cuando la fuente de energía y la instalación energética es la misma (o mejorada), implica menores emisiones de CO₂. Por tanto, el impacto en el calentamiento global se reduce. Finalmente, al comparar los resultados para los edificios con la simulación calibrada con los resultados que los mismos edificios tendrían procediendo a su cálculo según el EPC, los ahorros porcentuales, son entre un 16%-28% superiores al realizar el cálculo con los EPC.

Asimismo, al calcular el total del ahorro de demanda de calefacción, éste es superior en el caso de los certificados energéticos, ya que se sobreestiman las condiciones iniciales, lo que redundaría en un mayor consumo de energía inicial. De esta manera, para los edificios analizados, la simulación calibrada estima unos ahorros de demanda de calefacción inferiores al 56% de los obtenidos con el certificado energético.

6. CONCLUSIONES

La rehabilitación de edificios es sin lugar a dudas, una de las mejores opciones para reducir las emisiones de CO₂ que tanto impacto negativo tienen en la vida en la Tierra. Los ahorros de energía son bastante significativos, y siendo el sector residencial uno de los mayores consumidores de energía, es de gran importancia impulsar la renovación de edificios para alcanzar los ambiciosos objetivos que ha marcado la UE.

Se ha podido comprobar que las condiciones de confort interior en viviendas sociales, difieren de ser las condiciones estándar recomendadas, y durante un número de horas a lo largo del año, una persona promedio tendría sensación de disconfort debido a las temperaturas en las viviendas.

Para calcular los ahorros de energía, se han empleado dos métodos de cálculo distintos. Uno de ellos emplea el EPC, que es una opción aceptable para el caso de comparar distintos edificios bajo las mismas condiciones. Debido al patrón de consumo de energía de los inquilinos de vivienda social, este método tiende a sobreestimar los ahorros de energía (tanto porcentuales como totales), ya que las condiciones interiores de estos inquilinos no se corresponden con el patrón estándar.

El otro método empleado, requiere de una monitorización de las condiciones interiores y exteriores, así como datos acerca del consumo de energía, por lo que a pesar de ser un método más complejo, los re-

sumption and fight against energy poverty.

A lower energy consumption, when the energy source and energy installation are the same (or improved), imply lower CO₂ emissions. Therefore the impact in the global warming effect is reduced.

Finally, when compared this value (calibrated simulation) with the results that those buildings would obtain according with the EPC, the estimation of the percentage energy savings based on the certificate are approximately between 16 to 28% higher than using the calibrated simulation.

Besides, the total savings in heating demand is even higher when using the EPCs methodology, due to the fact that this method overestimates the initial energy consumption. This way, for the buildings under study, the calibrated simulation estimates the savings in heating demand to be lower than the 56% of those obtained using the EPC.

6. CONCLUSIONS

Building renovation is, without a doubt, one of the most suitable options to reduce the CO₂ emissions that have a negative impact on life in Earth by means of global warming effect. The energy savings are significant, and being the building sector one of the most energy consumers, it is of high importance to boost the building renovation to achieve the ambitious goals that EU has established.

It has been checked, that indoor comfort conditions in social housing dwellings differ from standard indoor conditions, and during a number of hours along the year, an average person would have discomfort due to low temperatures indoors.

To calculate the energy savings, two different methods were used. One of them employs the EPC, which is a suitable option to compare different buildings under the same conditions. Due to the user behavior pattern of the tenants in social housing, this method tends to overestimate the energy savings (both total and percentage), because the indoor comfort conditions of these tenants do not correspond with the standardized pattern.

The other method consists in a calibrated simulation and requires from energy monitoring and indoor and outdoor conditions data measurement, which make it more complex. However, the results are more adjusted to reality.

The energy savings are estimated to be in the range of 62-83% with the precise method, the calibrated simulation, although in the case of the EPC the energy savings are higher, ranging between 79% and over 90%.

When both procedures are compared, the savings

sultados se ajustarían más a la realidad.

Los ahorros de energía calculados se sitúan entre el 62% y el 83% con el método más preciso, la simulación calibrada, si bien en el caso de los EPC el ahorro de energía es superior, situándose entre un 79% y más del 90% de ahorro.

Al comparar ambos procedimientos, los ahorros en la demanda de calefacción obtenidos con la simulación calibrada son inferiores al 56% de los obtenidos con el EPC, lo cual puede ser de importancia de cara a los análisis económicos u objetivos globales de consumo de energía.

AGRADECIMIENTOS Y FUTUROS DESARROLLOS

Los trabajos presentados en el presente artículo han sido realizados dentro del Proyecto SustaiNAVility, que ha recibido financiación dentro del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea, bajo el Grant Agreement nº785045.

Alguno de los edificios se ha acabado de rehabilitar poco antes de la escritura del presente artículo. Tras un período de un año, se volverá a comprobar de nuevo la metodología indicada con datos de consumo de energía reales medidos en los edificios. Será interesante verificar si el usuario mantiene las mismas condiciones de confort una vez que su factura energética se haya reducido considerablemente.

Asimismo, será conveniente poder refrendar los cálculos realizados incluyendo más casos de edificios de viviendas de alquiler social en localidades y climatologías distintas.

in heating demand calculated with the calibrated simulation are lower than the 56% of those calculated through the EPC, and this may be of high importance to carry out the economic analysis and the definition of the global energy savings objectives.

ACKNOWLEDGMENT AND FUTURE WORKS

The project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement nº785045.

The buildings have been recently refurbished, so after a period of one year, the methodology would be checked again with measured data from the renovated buildings. It will be interesting to analyse if the building users maintain the same comfort conditions once the energy bills are drastically reduced.

Also, it would be convenient, to support the calculations carried out, to include more cases of social rental housings refurbished in different locations and climates.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/global-and-european-temperature-10/assessment>
- [2] https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_en
- [3] https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_en
- [4] https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action_en
- [5] https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en
- [6] https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/renovation-wave_en
- [7] <https://www.energy-poverty.eu/about/what-energy-poverty>
- [8] <https://gobiernoabierto.navarra.es/es/participacion/procesos-de-participacion/propuestas-gobierno/plan-energetico-navarra-horizonte-2030>
- [9] <https://www.sustainability.eu/en/home/>
- [10] <https://www.nasuvinsa.es/>
- [11] <http://meteo.navarra.es>
- [12] https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_chdd_esms.htm
- [13] <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/koppen-climate-classification-system/>
- [14] J. A. Duffie, W. A. Beckman Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons Inc, 4th Edition; ISBN 0470873663
- [15] <https://www.lascarelectronics.com/easylog-el-usb-2>
- [16] 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
- [17] ISO 9920:2009 Ergonomics of the thermal environment - Estimation of thermal insulation and water vapour resistance of a clothing ensemble
- [18] ISO 8996:2005 Ergonomics of the thermal environment - Determination of metabolic rate, corresponds to be at rest.
- [19] <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>
- [20] <https://evo-world.org/en/>
- [21] <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>
- [22] <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>
- [23] <http://www.trnsys.com/index.html>

Data-Driven Analysis of Heating Demand in Buildings Connected to District-Heating: Pattern Recognition and Demand Prediction

Analítica de Datos de Demandas de Calor en Edificios Conectados a Redes de Distrito: Reconocimiento de Patrones y Predicción de Demanda

Mikel Lumbreras¹, Koldobika Martin-Escudero¹, Gonzalo Diarce¹, Roberto Garay-Martinez²

ABSTRACT

This paper presents a novel framework for the analysis of heat consumption data of buildings connected to a district-heating network using machine learning techniques. The high variability and uncertainty of energy production in new district-heating networks make highly important to have deep insightful knowledge of the instant demand of all the buildings connected to the grid. Thus, the present paper presents a methodology for discovering heat consumption patterns in the buildings as well as a black-box model for heat load prediction.

The approach to analyzing the consumption data is carried out by a combination of unsupervised and supervised learning models. The unsupervised learning of the heat consumption patterns is carried out using the widely used k-means algorithm, whereas supervised random-forest algorithm is applied for heat-load forecasting.

The proposed framework is applied to a real residential building located in Tartu (Estonia) and connected to a subnetwork of the district-heating network of this location. The unsupervised clustering results in three main day-types with different consumption patterns throughout these days. Silhouette index is used for the validation of the clusters. The outcome from the heat load prediction model results in prediction accuracy over 0.95 for the R2 value

Key Words: Social housing, Energy Refurbishment, Energy Modelling, Data Analysis, Energy Savings

(1) ENEDI Research Group, Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering of Bilbao, University of the Basque Country UPV/EHU, Pza. Ingeniero Torres Quevedo 1, Bilbao 48013, Spain

(2) TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Bizkaia Science and Technology Park, Astondo bidea 700, Derio, Spain

1. INTRODUCCION

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se utilizan cada vez más con fines de gestión energética mediante contadores inteligentes para controlar diferentes variables, como el consumo energético [1]. Los contadores inteligentes son dispositivos digitales que se están implementando masivamente en los edificios [2] con capacidades de lectura de datos remota de alta frecuencia, como datos horarios y sub-horarios. Impulsados por la Directiva [3] de la Comisión Europea (CE), que trata del desglose del uso final de energía y la obligación de implementar funcionalidades de lectura remota para 2027, estos dispositivos digitales se utilizarán cada vez más para monitorizar la demanda energética en los edificios, entre otros usos.

El consumo de energía en los edificios representa alrededor del 40% del consumo total de energía en la Unión Europea (UE) [4] y aproximadamente la mitad de la demanda de los edificios se corresponde con la demanda de calefacción de espacios (SH) y agua caliente sanitaria (ACS) [5]. Por lo tanto, la alta cantidad que supone el gasto de energía térmica en los edificios y las estrategias para mejorar la eficiencia energética en los edificios podrían conducir a una gran reducción del consumo de energía total. Sin embargo, a diferencia de la alta accesibilidad en los datos de consumo eléctrico, la falta de disponibilidad de datos de alta resolución de consumo de calor antes de la instalación de contadores inteligentes, hace que no se puedan encontrar muchas referencias en la literatura sobre la analítica de estos datos.

Las redes de calefacción urbana, en inglés district-heating (DH), son actualmente responsables de cubrir el 13% de la demanda de energía en la UE [6] y, debido a las mejoras de eficiencia energética de estos sistemas, se espera que esta proporción aumente en los próximos años. Las fuentes de calor renovable y calor residual se utilizan cada vez más en las redes de DH ya que la temperatura de suministro de las redes se está reduciendo, mejorando la eficiencia energética del sistema, pero aumentando la variabilidad y la incertidumbre de la producción de energía. Esta incertidumbre hace que la caracterización correcta de la demanda de edificios conectados a la red sea aún más importante y los modelos basados en datos o de caja negra son una tecnología muy prometedora debido a la relativamente baja información requerida del edificio.

Los modelos de caja negra basados que implementan diferentes técnicas de aprendizaje automático (ML) podrían utilizarse para la caracterización de la demanda, la clasificación del perfil energético, el reconocimiento de patrones de consumo, predicción de la demanda o la identificación de cambios anómalos en la demanda, entre otros. Sin embargo, la mayoría de los estudios que utilizan algoritmos de ML se encuentran para aplicaciones de análisis de

1. INTRODUCTION

Information & Communication Technologies (ICT) are increasingly used for energy management purposes by means of smart meters to monitor different variables, such as energy consumption [1]. Smart meters are digital devices that are being massively implemented in buildings [2] with remote reading capabilities of high frequency data, such as, hourly and sub-hourly data. Driven by Directive [3] from European Commission (EC) which deals with the disaggregation of the final energy use and the obligation to implement remote reading functionalities by 2027, these digital devices will be increasingly used for reading energy demand in buildings.

Energy consumption in buildings account for around 40% of the total energy consumption in the European Union (EU) [4] and around half of the demand in the buildings correspond with space-heating (SH) and domestic hot water (DHW) demand [5]. Thus, the high thermal demand in buildings and the strategies for energy efficiency improvements in buildings could lead to large energy consumption reduction. However, in contrast to electricity data, the unavailability of high-resolution data of heat consumption before the installation of smart meters means that many references could not be found in literature.

District-Heating (DH) networks are currently responsible for covering the 13% of the energy demand in the EU [6] and due to the energy efficiency improvements of these systems, this share is expected to increase in the following years. Renewable and waste heat sources are increasingly used in DH networks since the supply temperature of the networks is being reduced, improving energy efficiency of the system but increasing energy production variability and uncertainty. This uncertainty makes the correct characterization of the demand for buildings connected to the network even more important from a DH operator view and data-driven or black-box models are very promising models due to the relatively low information required from the building.

Black-box models based on different machine-learning (ML) techniques could be used for demand characterization, energy profile classification, pattern recognition, demand forecasting or identification of anomalous changes in the demand, among others. Nevertheless, most of the studies using ML algorithms are found for electricity demand applications.

Regarding ML techniques applied to electricity demand data, [7] found that k-means was the most effective unsupervised clustering algorithm to investigate electricity load patterns in a data large data set with 1910 residential and 1919 non-residential buildings. Three fundamental clusters or daily profiles were obtained from this analysis. Moreover, [8] studied daily electricity usage pattern of three office buildings by means of a combination of supervised

demanda de electricidad.

Con respecto a las técnicas de ML aplicadas a los datos de demanda de electricidad, [7] afirmó que el algoritmo que K-medias, o K-means en inglés, era el algoritmo de agrupamiento no supervisado más eficaz para investigar patrones de carga de electricidad en un conjunto de datos de gran tamaño con 1910 edificios residenciales y 1919 no residenciales. De este análisis se obtuvieron tres perfiles diarios típicos fundamentales. Además, en [8] se estudió los patrones de uso diario de la electricidad en tres edificios de oficinas mediante una combinación de técnicas de agrupamiento o clustering supervisadas y no supervisadas, y la información descubierta a partir de estos análisis se aplicó para la detección de anomalías en la demanda. Se pueden encontrar una gran cantidad de referencias adicionales para el análisis de la demanda de electricidad, pero, aunque algunas de las metodologías son parcialmente aplicables a la demanda de calefacción, la demanda de calor se ve afectada por varias condiciones y puede caracterizarse de una manera completamente diferente a la electricidad.

Aunque se han encontrado algunos estudios para el análisis del consumo de energía térmica, la falta de disponibilidad de datos de alta resolución de demanda de calefacción provoca una falta de referencias en este campo. Este artículo explora el uso de diferentes algoritmos de aprendizaje automático para la aplicación en demandas de calefacción de edificios conectados a la red de DH. Para ello, se propone una metodología de varios pasos que combina diferentes algoritmos tanto para la identificación de patrones de consumo de calor como para la predicción de carga de calor en el edificio.

Este estudio presenta una metodología multipaso ilustrada en la Fig. 1 para analizar la demanda de calefacción en edificios conectados a una red de DH. La Sección 2.1 presenta las actividades de pre-procesamiento que se pueden llevar a cabo para los datos recogidos en bruto y la Sección 2.2 presenta los dos algoritmos de ML aplicados en el estudio y el objetivo con el que se aplican.

Las siguientes subsecciones proporcionarán detalles de cada una de las fases. El software utilizado en este

and supervised clustering techniques the insight discovered from these analysis were applied for anomaly detection. A large amount of references could be found for electricity demand analysis, but although some of the methodologies are partially applicable to heating demand, heat demand is affected by several conditions and may be characterized in a completely different way.

Therefore, the unavailability of high-resolution data for heating demand causes a lack of literature in this field, even though some studies have been found for thermal energy consumption analysis. This paper explores the use of different machine-learning algorithms for the application in heating demands of buildings connected to DH network. For that purpose, a multi-step methodology combining different ML algorithms is proposed for both, identification of heat consumption patterns and heat-load forecasting.

2. METHODOLOGY

This study presents a multi-step methodology illustrated in Fig. 1 for analyzing heating demand in buildings connected to a DH network. Section 2.1 presents the pre-processing activities that are carried out to raw data and Section 2.2 presents the two different ML algorithms used within this paper and the objective of using each of these algorithms.

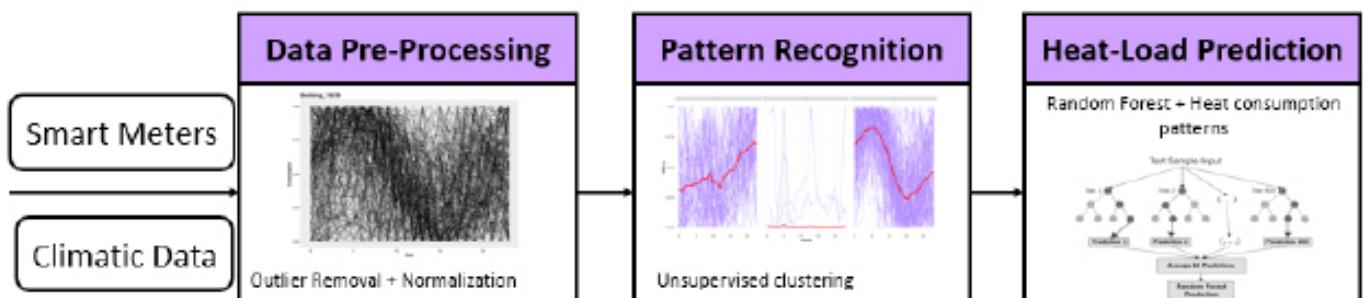
The following subsections will provide details of each phase. The software used in this analysis in R/RStudio [9], which enables to implement a large amount of ML algorithms with an efficient matrix-based calculation.

2.1. Data Sources & Pre-Processing

The starting point of every ML problem is the collection of the data that will be used for the data-driven model. For this methodology, two main data sources are used:

- i. Data from smart meters: These device are usually located in the substations of the DH networks, which divide the primary and secondary side of a DH network. One building is usually connected to each substation and smart meter measures different va-

Fig. 1. General Methodology of the proposed study.



análisis es R/RStudio [9], el cual permite implementar una gran cantidad de algoritmos de ML mediante un cálculo matricial muy eficiente.

2.1. Fuentes de Datos y Pre-Procesamiento

El punto de partida de todos los estudios de análisis de datos y ML es la recopilación de estos datos que se utilizarán para desarrollar los diferentes modelos. En la metodología propuesta, se utilizan dos fuentes de datos principales:

- Datos de contadores inteligentes: estos dispositivos suelen estar ubicados en las subestaciones de las redes DH, que dividen el lado primario y secundario de una red de DH. Un edificio suele estar conectado a una subestación y el contador inteligente mide diferentes variables en esta subestación; consumo de energía, temperaturas de flujo y retorno, entre otras. En este estudio, se utiliza el modelo de contador inteligente Multical® 603 de Karsmtrup [10], que mide y envía remotamente el consumo de energía térmica total (SH + ACS) con una frecuencia horaria.

- Fuente de datos climáticos: se requieren datos para la misma ubicación que el edificio. El consumo de calor en un edificio se ve afectado por varias condiciones, siendo las variables climáticas uno de los parámetros más importantes. Por tanto, en este estudio se utilizan la temperatura exterior (TOUT) y la irradiación solar global (GT). Debido a la localización del edificio en estudio, se descarta el uso de la humedad relativa.

En primer lugar, se acoplan ambas fuentes de datos y, para ello, se propone una comparación basada en variables de calendario. A partir de este proceso de casación de datos, se obtiene un conjunto de datos único con valores horarios. Posteriormente, los errores de lectura y los valores atípicos de las variables se identifican y eliminan del conjunto de datos original, lo que da como resultado un conjunto de datos limpio con lecturas horarias de: consumo de calor [kWh], temperatura exterior [°C], irradiación solar [W/m²] y variables de calendario (día del año, mes, día de la semana, etc.). Además, estos datos horarios se ordenan en perfiles diarios para el reconocimiento de patrones, obteniendo un conjunto de datos con 24 columnas, correspondiendo cada una de las columnas con cada hora del día, y cada fila se corresponderá con un día del año.

Se normaliza el conjunto de datos limpios, ya que uno de los objetivos de este estudio es el reconocimiento de los patrones de uso de la demanda. El valor real de la demanda no es tan interesante como la variación temporal del perfil diario de consumo de calor. En este caso, los perfiles de demanda de calefacción diaria se normalizan en el rango [0,1] mediante la Ecuación. (1):

$$q_{nor}(t) = (q(t) - q_{min}(t)) / (q_{max}(t) - q_{min}(t))$$

riables in the substation, such as energy consumption, flow and return temperatures, etc. In this study, smart meter model Multical® 603 from Kasmtrup [10] is used and measures the energy consumption with an hourly frequency.

- ii. Climatic data source: Data for the same location as the building is required. Heat consumption in a building is affected by several conditions, climatic variables being one of the most important parameters. Thus, in this study, outdoor temperature (TOUT) and global solar irradiance (GT) are used.

First, both data sources are coupled and for that purpose, a calendar-based matching is proposed. A unique data set with hourly values is obtained from this matching process. Then, the reading errors and outliers are identified and removed from the original data set, resulting in a clean dataset with hourly readings of heat consumption [kWh], outdoor temperature [°C], solar irradiance [W/m²] and calendar variables (day of the year, month, day of the week, etc.). Furthermore, these hourly data is ordered into daily profiles for pattern recognition, obtaining a dataset with 24 columns, corresponding each of the column with the measure of the heat consumption in each hour of the day and each row corresponds with different days.

Finally, the clean data set is normalized, since one of the objectives of this study is the recognition of the patterns of use of the demand. The real value of the demand is not as interesting as the temporal variation of the profile of the demand. In this case, the daily heating demand profiles are normalized in [0, 1] range by means of Eq. (1):

$$q_{nor}(t) = (q(t) - q_{min}(t)) / (q_{max}(t) - q_{min}(t))$$

Where $q_{nor}(t)$ and $q(t)$ correspond with normalized and actual heating demand at time t ($t = 1, 2, \dots, 24$), respectively and $q_{max}(t)$ is the daily maximum heating load and $q_{min}(t)$ is the daily minimum heating load.

2.2. Unsupervised Clustering (K-means) & Heat-Load Prediction (Random Forest)

This paper explores the use of two main algorithms. The unsupervised clustering algorithm is implemented by means of the widely used K-means [11] algorithm and for heat load forecasting, also widely used random-forest (RF) is used [12].

Consumption patterns are daily loads or a fraction of daily load that are repeated over time. These consumption patterns may be repeated over various days within a heating season. The consumption patterns can be used to understand the heating load of

Donde $q_{nor}(t)$ y $q(t)$ se corresponden con la demanda de calefacción normalizada y real en el momento t ($t = 1, 2, \dots, 24$), respectivamente y $q_{max}(t)$ es la carga de calefacción máxima diaria.

2.2. Agrupación No Supervisada (K-medias) y Predicción de Demanda de calor (Random Forest)

Este artículo explora el uso de dos algoritmos principalmente. El algoritmo de agrupamiento o clustering no supervisado se implementa mediante el algoritmo K-medias [11] ampliamente utilizado y para el pronóstico de la carga de calor se utiliza el también ampliamente utilizado bosque aleatorio, en inglés Random Forest (RF) [12].

Los patrones de consumo son cargas diarias o una fracción de la carga diaria de la demanda que se repite en el tiempo. Estos patrones de consumo pueden repetirse durante varios días dentro de una temporada. Los patrones de consumo se pueden utilizar para comprender la carga de calefacción de un edificio y los patrones de uso de los usuarios dentro de él, sin información adicional. Con el objetivo de descubrir estos diferentes patrones de uso de la demanda de calefacción, se aplica el algoritmo K-medias. El algoritmo K-medias se utiliza para dividir el conjunto de datos en K grupos o clústeres predefinidos y cada observación pertenecerá a un solo grupo o clúster. Esta partición comienza con una selección aleatoria de K centroides.

Como no existen condiciones iniciales que determinen cuál debe ser el número de patrones de consumo a identificar, se aplica el algoritmo para $K = \{3, 4, \dots, 10\}$ y los clústeres obtenidos se evalúan mediante el índice de Silhouette [13]. Este índice evalúa la distancia intra-clúster (distancia entre observaciones dentro de un grupo) y entre grupos (distancia entre observaciones de diferentes grupos). Una distancia intra-clúster baja y una distancia inter-clúster alta significan que los clústeres identificados están separados y compactos. Por tanto, se buscará la agrupación con valores máximos de este índice.

Por otro lado, la predicción de la demanda de calor se realiza mediante el algoritmo de bosque aleatorio (RF), debido a la alta precisión que suele mostrar este algoritmo, en comparación con relativamente bajo coste computacional. RF es un algoritmo supervisado en el que los datos se muestrean en múltiples árboles de decisión en paralelo y se obtiene un resultado de la regresión para cada uno de los árboles. Luego, se combina todo el árbol, obteniendo un resultado de una combinación de todos los árboles. Para este modelo, el conjunto de datos limpios obtenido de la Sección 2.1 se divide en conjuntos de datos de entrenamiento y prueba. Pímeramente, el modelo se entrenará con los datos de entrenamiento, para luego estudiar su eficiencia con los datos de testeo. Para entrenar este modelo, las variables de

a building and the patterns of use of the heating demand of the users, without additional information. With the objective of discovering these different patterns of use of the heating demand, K-means algorithm is applied. K-means algorithm is used to partition the dataset into K pre-defined groups or clusters and each observation belongs only to one group. This partition starts with random selection of K centroids.

As there are no initial conditions that determine which should be the number of consumption patterns to be identified, the algorithm is applied for $K = \{3, 4, \dots, 10\}$ and the obtained clusters are evaluated using the Silhouette Index [13]. This index evaluates the intra-cluster distance (distance between observations inside a cluster) and inter-cluster distance (distance between observations from different clusters). A low intra-cluster distance and high inter-cluster distance mean that the identified clusters are separated and compact. So, the maximum value for Silhouette index is defined as the optimal clustering process.

Besides, the heat demand prediction is carried out using random-forest (RF) algorithm, due to the high accuracy of this model. On the whole, RF is a supervised algorithm in which the data is sampled into multiple decision-trees and a result for the regression obtained from each of the trees. Then, the whole tree is combined, obtaining a result from a combination of all the trees. For this model, the clean data set obtained from Section 2.1 is divided into training and testing datasets. For training this model, the input variables used are TOUT, GT and calendar variables.

3. RESULTS & DISCUSSION

The results of this study are based on a building used as a residential apartment (named as Building 10258) and connected to the DH network in Tartu (Estonia). As previously commented, hourly data from the building is used with hourly frequency, provided by Fortum Tartu [14] the DH operator, and the climate data is obtained from a weather station located in the University of Tartu [15]. In this study, data for the entire 2019 is used. Even though results for a unique building are shown, the methodology is replicable to any building connected to the DH in Tartu. For this climate, the use of relative humidity as input variable is discarded due to the very cold and dry winter season.

After clustering the daily heat demand as explained in Section 2.2, the resulting Silhouette indexes are shown in Table 1. The cluster validation index summarized that K=3 clustering process is the optimal classification of daily profiles, since the maximum value is obtained.

The identified 3 clusters for this building and their corresponding consumption patterns are shown in Fig. 2.

Table 1.
Silhouette Indexes for
different clustering
algorithms

	K = 3	K = 4	K = 5	K = 6	K = 7	K = 8	K = 9	K = 10
Silhouette Index [-]	0.4589	0.3571	0.3098	0.271	0.2607	0.2427	0.2348	0.2184

entrada utilizadas son TOUT, GT y variables de calendario. Esta separación de training/testing se realiza en una proporción de 80/20 respectivamente, separando días completos.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de este estudio se basan en un edificio utilizado como apartamento residencial (denominado Edificio 10258) y conectado a la red DH en Tartu (Estonia). Como se ha comentado anteriormente, los datos proporcionados por Fortum Tartu [14], el operador de DH se reciben con frecuencia horaria; mientras que los datos climáticos se obtienen de una estación meteorológica ubicada en la Universidad de Tartu [15]. En este estudio se utilizan datos de todo el año 2019. Aunque se muestran los resultados de un edificio único, la metodología es replicable en cualquier edificio conectado a la DH en Tartu.

Después de aplicar el algoritmo de clustering no-supervisado tal y como se explica en la Sección 2.2, los índices de Silhouette resultantes se muestran en la Tabla 1 para cada K. El índice de validación del clúster concluye que el proceso de agrupamiento con K = 3 (3 centroides) es la clasificación óptima de los perfiles diarios, ya que se obtiene el valor máximo.

Los 3 grupos identificados resultado del algoritmo no-supervisado para este edificio y los patrones de consumo correspondientes se muestran en la Fig. 2.

Los patrones de consumo identificados son los siguientes:

- El grupo 1 de la Fig. 2 reúne una gran cantidad de perfiles energéticos diarios. La gran mayoría de estos

The consumption patterns identified are the followings:

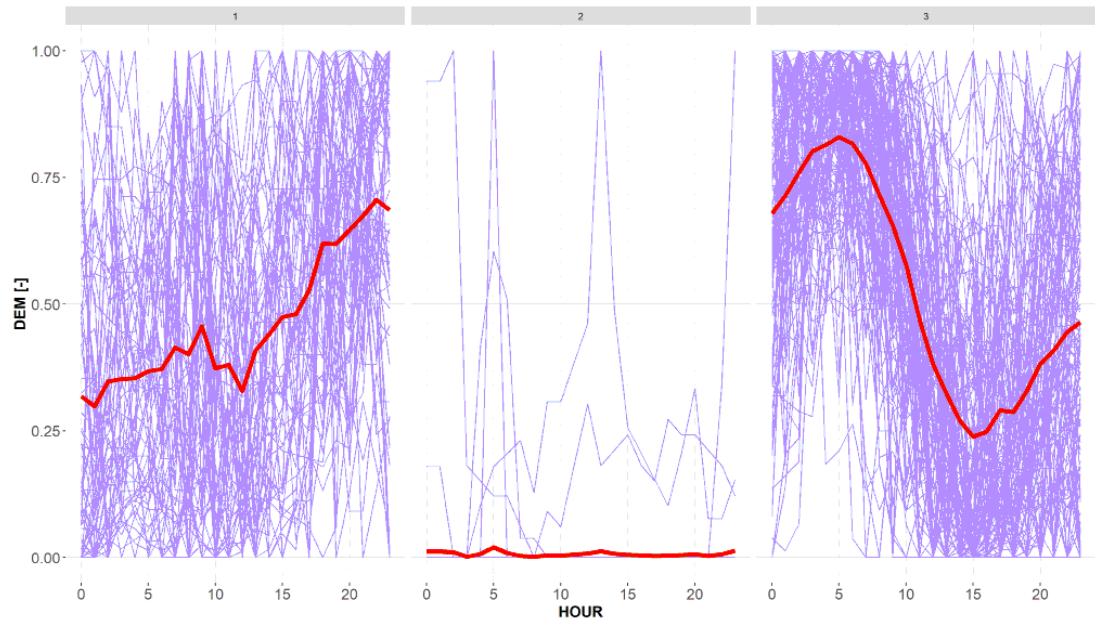
- Cluster 1 in Fig. 2 gathers a large amount of daily energy profiles. The vast majority of energy profiles in this cluster have a relatively changing profile, probably caused by the DHW consumption and its changing requirements. In general, the overall demand increases throughout the day, with a local maximum at 8am and the global maximum around 22pm. These peak demands match with high occupancy moments of the building.

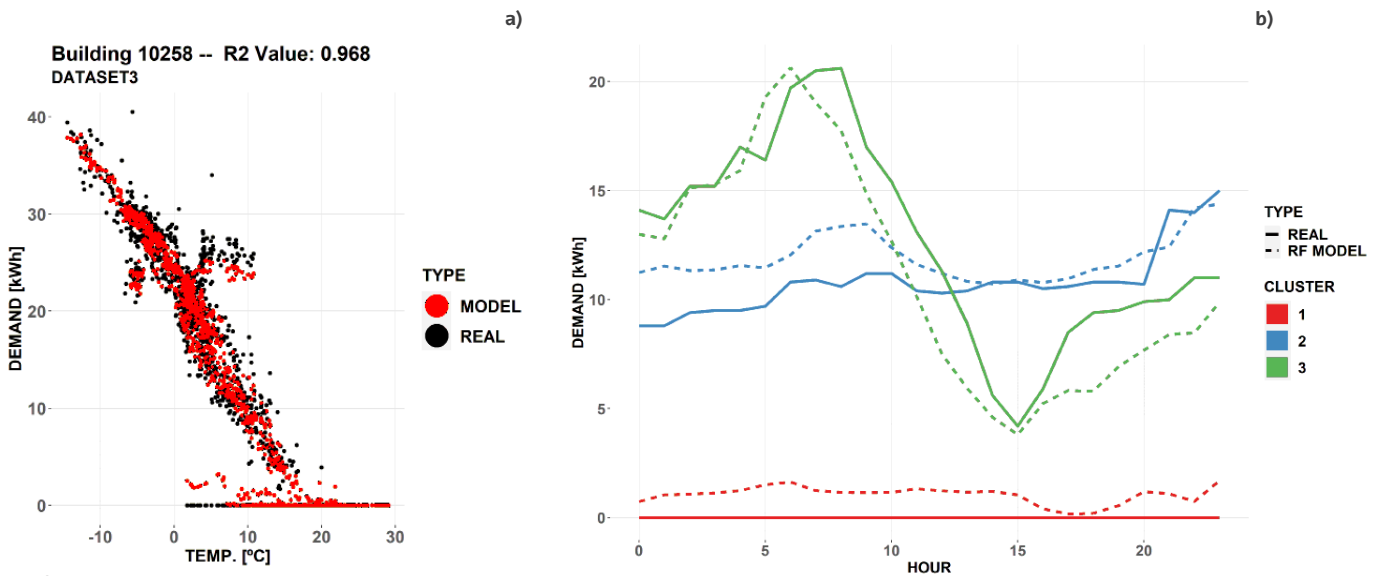
- Cluster 2 gathers the daily profiles in which there is no heat consumption, regardless the climatic conditions out of the building. So, the heat consumption pattern is not to require heat demand. The daily energy profiles in this cluster match with summer days, when there may not be any user in the building, since there is no SH or DHW consumption. Note that 3-4 profiles do not correspond with the general pattern in this cluster.

- Cluster 3 shows the most consumption patterns within the 3 clusters. The wavy demand profile of this cluster start with an increase in the demand up to the peak demand around 6-7am. Henceforth, the demand is reduced up to the off-peak hour at around 15pm and finally the demand increases, reaching demand levels of the first hours of the day. The heat consumption patterns identified in this cluster could sense the occupancy patterns of the users in the building.

Finally, the heat prediction model results in a R2 value of 0.968 when introducing the K=3 clustering vector as input to the RF model. The real demand

Fig. 2.
Normalized energy profiles
after K=3 clustering process
in Building 10258.





perfiles energéticos tienen un carácter cambiante, probablemente causado por el consumo de ACS y su carácter cambiantes a altas frecuencias. En general, la demanda global aumenta a lo largo del día, con un máximo local a las 8am y el máximo global alrededor de las 22pm. Estas demandas máximas coinciden con los momentos de alta ocupación del edificio.

- El Clúster 2 recoge los perfiles diarios en los que no hay consumo de calor, independientemente de las condiciones climáticas. Entonces, el patrón de uso identificado es la no demanda de calor, independientemente de las condiciones exteriores al edificio. Los perfiles energéticos diarios de este clúster coinciden con los días de verano, cuando puede que no haya ningún usuario en el edificio, ya que no hay consumo de ACS ni calefacción. Se observan también 3-4 perfiles que no se corresponden con el patrón general en este grupo.

- El Clúster 3 muestra la mayoría de los patrones de consumo, con un perfil de demanda muy marcado. El perfil de demanda ondulado de este grupo comienza con un aumento en la demanda hasta el pico de demanda alrededor de las 6 a las 7am. A partir de entonces, la demanda se reduce hasta las horas valle alrededor de las 15pm para finalmente aumentar la demanda, alcanzando los niveles de demanda de las primeras horas del día. Los patrones de consumo de calor identificados en este grupo podrían detectar los patrones de ocupación de los usuarios en el edificio.

Finalmente, el modelo de predicción de calor da como resultado un valor R2 de 0.968 al introducir el vector de agrupamiento K=3 como entrada al modelo de RF. La demanda real y la demanda predicha a partir del modelo se muestran en la Imagen 3a en combinación con tres perfiles de energía y su predicción en la Fig. 3b.

Los perfiles de calor que se muestran en la Fig. 3 confirman los patrones de consumo de calor identificados en la Fig. 2, para ello mostrando el valor real de la demanda en el edificio. Con respecto al pronóstico

and the demand predicted from the model are shown in Fig. 3a in combination with three energy profiles and their prediction in Fig. 3b.

Heat profiles shown in Fig. 3 confirm the heat consumption patterns identified in Fig. 2, showing the real demand value in the building. Regarding the heat load forecasting, profiles in Cluster 1 (red line in Fig. 3) are slightly overestimated and similarly for the first hours in Cluster 2. Finally, RF model underestimated the demand for the profile in Cluster 2 shown in Fig. 2. However, only one profile in each cluster are shown and the overall forecasting accuracy seems to be very high.

4. CONCLUSIONS & FURTHER WORK

This paper presents a general framework for analyzing heat consumption data from smart meters. The analyzed data corresponds with hourly heat consumption data from buildings connected to DH networks. This paper provides a general methodology to identify representative usage patterns of the demand allowing to discover deep insightful knowledge behind the energy consumption patterns. Moreover, a model for heat load forecasting is also proposed. Unsupervised clustering by means of k-means is used for the identification of hidden patterns of use of the heat energy in the building, whereas random forest algorithm is applied in the heat load prediction model.

The future work will be based on extending this study to all the buildings in the subnetwork (data for more than 40 buildings is available), regardless of the final use of the building. Moreover, different prediction models will be proposed as well as the correlation between clusters needs to be studied.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Fortum Tartu for providing data from the substations for academic purposes.

Fig. 3. Heat Load Prediction (a) Q-T Diagram and (b) Q-t Diagram in Building 10258

de carga de calor, los perfiles en el Clúster 1 (línea roja en la Fig.3) están ligeramente sobreestimados y de manera similar durante las primeras horas en el Clúster 2. Finalmente, el modelo de RF subestima la demanda del perfil en el Clúster 2 que se muestra en la Fig. 2. Sin embargo, solo se muestra un perfil en cada grupo y la precisión general del pronóstico parece ser muy alta, tal y como se muestra en la Fig. 2a.

4. CONCLUSIONES

Este documento presenta un marco general para analizar los datos de consumo de calor de los medidores inteligentes. Los datos analizados se corresponden con los datos de consumo de calor por hora de un edificio conectado a las redes DH. Este artículo proporciona una metodología general para identificar patrones de uso representativos de la demanda, lo que permite descubrir un conocimiento profundo detrás de los patrones de uso en el edificio. Además, también se propone un modelo para la predicción de la carga térmica. La agrupación no supervisada por medio de k-medias se utiliza para la identificación de patrones ocultos de uso de la energía térmica en el edificio, mientras que el algoritmo de bosque aleatorio se aplica en el modelo de predicción de carga térmica.

El trabajo futuro se basará en extender este estudio a todos los edificios de la subred (se dispone de datos de más de 40 edificios), independientemente del uso final del edificio. Además, se propondrán diferentes modelos de predicción y será necesario estudiar la correlación entre clústeres dentro de cada edificio y entre edificios.

RECONOCIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Fortum Tartu por proporcionar datos de las subestaciones con fines académicos.

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación de España (MICINN) la financiación a través del proyecto de investigación Sweet-TES (RTI2018-099557-BC22).

Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención nº 768567.

The authors would like to acknowledge the Spanish Ministry of Science and Innovation (MICINN) for funding through the Sweet-TES research project (RTI2018-099557-BC22).

This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 768567.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] X. Liu, W. Golab, Ilyas IF. Benchmarking smart meter data analytics. In Proc of the 18th international conference on extending database technology: 2015. p. 385-96.
- [2] Darby S. Smart metering: what potential for householder engagement? *Build ResInform* 2010;38:442-57.
- [3] 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.
- [4] L. Pérez-Lombard, J. Ortiz, C. Pout, A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, Volume 40, Issue 3, 2008, Pages 394-398, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- [5] International Energy Agency. Heating without global warming; 2014. Available at < https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/FeaturedInsight_HeatingWithoutGlobalWarming_FINAL.pdf >
- [6] H. Lund, Renewable energy strategies for sustainable development, *Energy* 32 (6) (2007) s-919, ISSN 0360-5442. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>.
- [7] J. V. Park, X. Yang, C. Miller, P. Arjunan, Z- Nagy, Apples or oranges? Identification of fundamental load shape profiles for benchmarking buildings using a large and diverse dataset, *Applied Energy*, Volume 236, 2019, Pages 1280-1295, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.025>.
- [8] X. Liu, Y. Ding, H. Tang, F. Xiao, A data mining-based framework for the identification of daily electricity usage patterns and anomaly detection in building electricity consumption data, *Energy and Buildings*, Volume 231, 2021, 110601, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110601>.
- [9] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2013.
- [10] Karmstrup, Multical® 603 (Accessed in January 2021)
- [11] M. Emre Celebi, *Partitional Clustering Algorithms*, Springer International Publishing, 2015, ISBN 978-3-319-09258-4, DOI: 10.1007/978-3-319-09259-1
- [12] L Breiman, Random Forests. *Machine Learning* 45, 5-32 (2001). <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
- [13] P.J. Rousseeuw, Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, *J. Comput. Appl. Math.* 20 (1987) 53-65, [https://doi.org/10.1016/0377-0427\(87\)90125-7](https://doi.org/10.1016/0377-0427(87)90125-7).
- [14] Fortum Tartu, <https://www.fortumtartu.ee/> (Accessed in 2020)
- [15] University of Tartu, Institute of Physics, Laboratory of Environmental Physics, <http://meteo.physic.ut.ee/?lang=en> (Accessed in 2020)

Basic prefabricated constructions as a strategy to address housing shortage in South American slums.

Construcción prefabricada básica como estrategia de superación masiva de la pobreza habitacional en los asentamientos informales latinoamericanos.

Iñigo Hernández Aycart¹

ABSTRACT

This paper approaches the problem of improving the habitats of Latin Americans living in poverty. It looks into a strategy of saturation using basic prefabricated housing solutions as a method to efficiently, socially and sustainably address the housing deficit. The research is based on the case of an Argentine CSO, TECHO, which has many years experience building prefabricated emergency houses in the country's informal settlements. This CSO recently went through a process of designing and implementing a new design that seeks to offer a flexible and incremental prefabricated solution. The main objective was to support the efforts of the inhabitants of informal settlements to build their own shelters.

After the main problems of the earlier emergency house design used by TECHO were identified and the way that dwellers produce their habitat was understood, the development of the new design explored different existing types of prefabricated systems, seeking a means by which to improve the realization of TECHO's objectives. This process led to the Vivienda Semilla, a prefabricated, modular low-cost and easy-to-build system, adaptable to a diversity of different cases of vulnerability. In addition, the building envelope was replacable, creating efficiency in terms of the use of material resources as the structural elements of the building can be maintained when users take further steps towards obtaining quality housing. Once the design was finalised, more than 100 instalations were executed between 2018 and 2020 in different informal settlements all over the country. Now, a few years on, the results of that work can be studied and reflected on.

Key Words: Social Production, Housing, Prefabrication, Slums.

(1) Doctoral Candidate in Restoration of Historical Constructions, Urban Evolution and Refurbishment (UPV/EHU)
Paseo de Bera Bera 14,5º Izda Donostia – San Sebastian

1. INTRODUCCIÓN

Se estima que más del 67% del patrimonio construido de viviendas en América Latina ha sido realizado por fuera del mercado formal [1]. Son los propios habitantes quienes, al no poder acceder a una vivienda ya construida por el sector privado o estatal, buscan solucionar su propia necesidad de refugio. Así, durante décadas, sin técnicos ni arquitectos han ido construyendo, modificando y ampliando asentamientos, favelas o barriadas populares del continente hasta llegar a alojar a día de hoy a casi un cuarto de la población urbana latinoamericana [2].

Pero este patrimonio adolece de innumerables patologías, la construcción es deficiente y, pese a que existen programas y proyectos dedicados a la mejora de esa situación, son pocos los proyectos que salen del tópico de la vivienda estándar mínima como solución, consiguiéndose resultados de poco calado en términos cuantitativos. En este trabajo se trata esta problemática y, a través de un caso de estudio específico, se plantea una estrategia alternativa a base de la satisfacción gradual de las necesidades habitacionales para la mayoría, usando sistemas constructivos de viviendas prefabricadas básicas, adaptables e incrementales.

Se busca defender la hipótesis de que democratizar la arquitectura y hacer a los usuarios protagonistas en la construcción de sus propios hogares no es solo justo sino que conveniente en términos de eficiencia, calidad y sostenibilidad. Para ello se usa de base el trabajo de campo realizado en Argentina desde 2015 hasta 2019 en la OSC TECHO, especializada en construcción de viviendas de emergencia y para la cual se desarrolló un nuevo sistema constructivo que sustituyera el que había empleado hasta la fecha.

2. EL DÉFICIT HABITACIONAL EN ARGENTINA Y EN TODO AMÉRICA LATINA

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en una de sus últimas publicaciones sobre vivienda habla del crecimiento de la población urbana de América Latina y el Caribe [3]. En los últimos 60 años, las ciudades latinoamericanas han pasado de alojar 108 millones de habitantes a más de 500. Esta explosión demográfica genera en las ciudades una demanda enorme de refugio frente a una oferta escasa. Esto supone una competición por el suelo urbano donde las clases sociales con menos recursos son excluidas, convirtiéndose la provisión de vivienda y la planificación urbana en un desafío para los gobiernos de la región.

Para enfrentarlo, los diferentes países han desarrollado históricamente políticas habitacionales focalizadas, en su mayoría, en la provisión de vivienda social terminada "llave en mano". Sea mediante la

1. INTRODUCTION

It is estimated that more than 67% of existing housing in Latin America has been constructed outside the formal market [1]. Inhabitants themselves, unable to access housing produced by the private or state sector, try to meet their own needs for shelter. Thus, without technicians or architects, these subjects have for decades been building, modifying and expanding settlements, favelas and popular neighbourhoods throughout the continent. Today these areas house almost one quarter of Latin America's urban population [2].

Unfortunately, this housing suffers from any number or pathologies. Construction is sub-standard and, despite the fact that there are programs and projects dedicated to addressing this problem, few of these go beyond the scope of minimum standard housing as a solution. Only limited results have been achieved in quantitative terms. This paper addresses this issue and, through a specific case study, proposes an alternative strategy based on the disaggregated satisfaction of the housing needs of the majority, using basic, adaptable and upgradeable prefabricated housing construction systems.

It seeks to defend the hypothesis that democratizing architecture and making users protagonists in the construction of their own homes is not only fair but also valuable in terms of efficiency, quality and sustainability. The article is based on field work carried out in Argentina between 2015 and 2019 at TECHO, a civil society organization (CSO) specialized in emergency housing construction. Over the course of the field work, a new construction system was developed to replace another that the CSO had been using up until that point.

2. THE HOUSING DEFICIT IN ARGENTINA AND THROUGHOUT LATIN AMERICA

In a recent publication, the Inter-American Development Bank (IDB) discusses the growth of the urban population of Latin America and the Caribbean [3]. Over the last 60 years, the population of Latin American cities has increased from 108 to more than 500 million. This demographic explosion has generated a huge demand for shelter in cities, in the face of limited supply. This has engendered a competition for urban land in which social classes with less resources are marginalized, making the provision of housing and urban planning a challenge for the governments of the region.

Different countries have historically developed housing policies focused, for the most part, on the provision of social housing in the form of completed residences, "key in hand". Whether directly, through state agencies, or by encouraging production by the private sector, this strategy has proven to be insuffi-

producción pública o incentivando la producción por parte de empresas privadas, esta estrategia ha demostrado ser insuficiente para solucionar el déficit habitacional. Si bien es notable la cantidad de viviendas producidas bajo esta estrategia el número total apenas ha conseguido absorber el crecimiento vegetativo de este déficit.

Se suma a esto, el hecho de que estas viviendas “sociales” tienen generalmente numerosos problemas cualitativos. Al ser entendidas como producto de un sector económico, la búsqueda del mayor beneficio genera normalmente viviendas de muy mala calidad [4].

Mientras tanto, todos aquellos grupos sociales que históricamente no han podido acceder a una vivienda provista por el estado o por el mercado, se han encargado de autoproducirse su propio refugio allí donde han podido. Esta estrategia es conocida como Producción Social del Hábitat (frente a la Producción Pública o Privada).

Pero dado que este tipo de construcciones suelen realizarse sin asistencia técnica, en suelos urbanos residuales o alejados de los núcleos dotacionales de las ciudades y con escasez de recursos, el gran problema de las viviendas autoproducidas es de calidad. Si a esto se le suma la calidad de las viviendas sociales provistas por el estado, directamente o favoreciendo el acceso a las de producción privada, el gran problema del déficit habitacional latinoamericano, es cualitativo, representando el 94% del total en las áreas urbanas de la región [3].

En resumen, la gran mayoría del patrimonio habitacional construido en América Latina, resultado del esfuerzo de sus propios pobladores, tiene como principal problema la necesidad de renovación y mejora cualitativa de su situación, mucho más que la provisión de nuevas viviendas construidas.

Si nos acercamos al caso que nos ocupa, en Argentina el último Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas realizado por el INDEC en el 2010 contabilizó que un 19,8% de los hogares estaban en situación habitacional deficitaria. Pero de ese 19,8%, solo un 15% vivían en lo que el censo considera “viviendas precarias irreversibles” necesitadas de una nueva construcción.

El 85% restante del déficit habitacional necesitan una solución que pasaba por renovar, mejorar y/o ampliar lo construido. De hecho, un 46% del déficit es debido al hacinamiento en el hogar, cuestión interesante pues se podría solucionar apoyando en la

cient to address the housing deficit. Although the number of homes produced under this strategy has been significant, the total has nevertheless barely managed to absorb the impact of demographic increase.¹ On top of this is the fact that these “social” dwellings generally present a number of problems with respect to quality. Where housing is understood as a product within the economic sector, the drive for higher profits often leads to the construction of very poor-quality homes [4].

Meanwhile, all those social groups that historically have not been able to access housing provided by the state or the market have taken on the task of producing their own refuges wherever they are able. This strategy is known as the social production of habitat, as opposed to public or private production.

However, given that this type of construction is usually carried out without technical assistance, on residual urban land or on sites far removed from the resource hubs of the city and with very limited means, the great problem of self-produced houses is quality.² Given the problems of quality already mentioned with respect to state supported social housing, publicly or privately built, the biggest issue in terms of the Latin American housing deficit is qualitative. This problem is present in 94% of all urban areas in the region [3].

In summary, the biggest housing issue in Latin America is housing quality and the need for renovation and qualitative improvement of existing dwellings, many of which were built through the efforts of their own inhabitants, more than the provision of newly built homes.

Approaching the case at hand, in Argentina the most recent National Population, Household and Housing Census carried out by INDEC in 2010 recorded that 19.8% of households had inadequate housing. However, of this 19.8%, only 15% lived in what the census considered “irremediably precarious homes,” in need of total reconstruction.

The remaining 85% of cases demand solutions that involve renovating, improving and/or expanding on existing constructions. In fact, 46% of cases the inadequacy of housing was due to overcrowding. This could be resolved by supporting the extension of pre-existing homes, otherwise of good quality and capable of meeting inhabitants’ needs [5].

3. TECHO

The current panorama in Argentina is the result of

(1) The housing deficit has remained practically stable over the last 30 years, which indicates that the supply of new housing built absorbs little more than vegetative growth. To this it must be added that there is a mismatch between demand (the vast majority coming from poor social sectors) and private supply (generally directed towards higher-income sectors) [10].

(2) Adequate housing is understood as that offering minimum legal security in tenure, availability of basic services, quality materials and infrastructure, bearable expenses, minimum habitability, accessibility, closeness to work centers and facilities and appropriateness for the cultural identity of its inhabitants [14].

ampliación y crecimiento de la vivienda preexistente, de buena calidad por otro lado [5].

3. TECHO

La situación actual en Argentina es resultado de procesos históricos complejos y multidimensionales pero se podría recalcar que se ha ido agravando en las últimas décadas debido a un proceso de fuerte retracción estatal como rol conductor de la política habitacional argentina [6]. Esto ha llevado a la proliferación del llamado tercer sector. Asociaciones, ONG y OSC han ido apareciendo para cooperar en la superación de la precariedad habitacional, intentando cubrir la ausencia del Estado.

En este contexto se inserta el trabajo de la Organización de la Sociedad Civil "TECHO" (en adelante TECHO) para la cual se realizó el desarrollo presentado en este documento. TECHO Argentina, originalmente con el nombre "un TECHO para Argentina", apareció en Abril de 2003 en la provincia de Córdoba y actualmente está presente en 12 provincias y en 84 asentamientos del país.

Usando sus palabras, "TECHO es una organización [...] que busca superar la situación de pobreza que viven millones de personas en asentamientos populares, a través de la acción conjunta de sus habitantes y jóvenes voluntarios y voluntarias."

El trabajo de la OSC consta de varias programas donde quien lidera en nombre de TECHO el trabajo en los asentamientos son siempre personas voluntarias (aspecto clave a tener en cuenta para todo el desarrollo).

complex and multidimensional historical processes. However, it seems clear that the situation has deteriorated over recent decades due to a process of dramatic state withdrawal from its role in directing Argentine housing policy [6]. This has led to the expansion of the so-called third sector. Associations, NGOs and CSOs have emerged to collaborate in responding to housing precariousness, in an attempt to compensate the absence of state intervention.

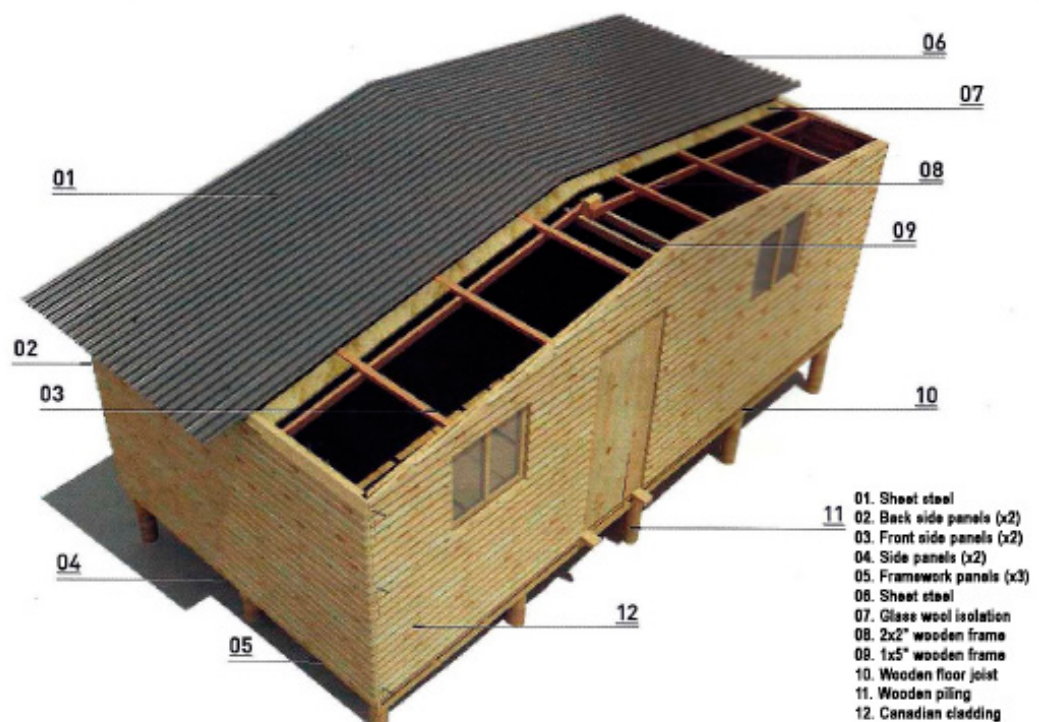
The civil society organization TECHO, with whom the research presented here was carried out, works in this context. TECHO Argentina, originally named "a TECHO [roof] for Argentina", was founded in April 2003 in the province of Córdoba and is currently active in 12 provinces and 84 settlements throughout the country.

In its own words, "TECHO is an organization [...] that seeks to help the millions of people that live in popular settlements escape from poverty, through the joint action of inhabitants and young volunteers."

The work of the CSO encompasses several programs. Those leading the work in settlements on behalf of TECHO are always volunteers- a key factor with respect to a number of processes.

Of the organization's programs, the one that has had the most reach is the prefabricated emergency housing construction program. In Argentina alone, since its inception TECHO has erected more than 14,800 housing modules. Known as mediaguas, these emergency housing modules, which can be assembled in just two days, are prefabricated wooden modules based on self-supporting frame panels and canadian cladding, and include a single 18m² room

Fig.1.
Mediagua. Image by the author (2021)



Dentro de estos programas, el que más alcance ha tenido sin lugar a dudas es el programa de construcción de viviendas de emergencia prefabricadas. Sólo en Argentina, desde su comienzo TECHO ha construido más de 14.800 módulos habitacionales. Conocida como mediagua, esta vivienda de emergencia construida en dos días es un módulo prefabricado en madera a base de paneles autoportantes de bastidores y revestimiento canadiense, con una sola estancia de 18 m²s con tres aperturas y una puerta (Fig. 1). Estas viviendas son producidas por dos carpinterías industriales propias en las que TECHO invirtió como una estrategia para optimizar sus recursos.

El programa se inicia en cada asentamiento con el equipo de voluntarios encuestando a todos aquellos hogares que así lo soliciten. La encuesta, rellena en varias entrevistas, releva la situación habitacional del hogar. En paralelo, TECHO, en base a sus recursos (proveniente exclusivamente de donaciones) define cuántos de estos módulos de emergencia podría construir en cada uno de los asentamientos para una fecha dada. Una vez que se conoce el número de módulos que se podrán construir, TECHO prioriza en base a una serie de criterios cuales de esos hogares los necesitan más. Definido esto, se le avisa a las familias beneficiarias y llegada la fecha, de nuevo con voluntarios, se construye la vivienda de emergencia en un fin de semana.

4. EVALUACIÓN DEL PROGRAMA

Evaluaciones de impacto de este programa realizadas por organismos externos a TECHO han demostrado que supone una mejora en la calidad de vida de las personas en comparación a su situación anterior (sin la vivienda de emergencia). Una evaluación realizada en 2016 por el Programa Interdisciplinario sobre Desarrollo Humano e Inclusión Social de la Universidad Católica Argentina (UCA) afirmó tras dos años de investigación que la vivienda suponía una mejora clara en la privacidad, la sensación de seguridad, las relaciones interpersonales, el estado de ánimo y la percepción del bienestar [7].

Evaluaciones similares realizadas con anterioridad demostraron también impacto en la satisfacción con la vivienda, la percepción de la calidad de vida y de la seguridad y mejora de la calidad del sueño.

Tras la publicación del informe preliminar de la evaluación de la UCA, la organización contrato los servicios de una consultora social, INSITU, para realizar una nueva evaluación de impacto del programa, esta vez cualitativa [8]. En vez de encuestas estructuradas a un número elevado de hogares beneficiados con la mediagua en busca de resultados estadísticamente relevantes, se realizaron entrevistas y grupos focales para profundizar en las percepciones y opiniones de las personas que las habitaban. El objetivo era complementar los resultados de la evaluación de la UCA,

with three windows and a door (Fig. 1). These homes are produced by two industrial carpenteries which were established by TECHO as a strategy to optimize its resources.

In each settlement in which the program is to be implemented the process begins with a team of volunteers surveying all those households who wish to be included. The survey, completed over the course of several interviews, solicits information about the household's existing living conditions. In parallel, TECHO assesses how many emergency modules it is able to erect in each settlement by a given date, given the resources available. The organization's funding is entirely donation based. Once the number of modules that can be built is determined, TECHO prioritizes the construction order based on a series of criteria establishing need. Once the build order is established, beneficiary families are notified of the day on which their module will be erected. On this date an entirely volunteer labour force installs the module together with the household, over a weekend.

4. PROGRAM EVALUATION

Impact evaluations of this program carried out by external agencies have shown that it does improve people's quality of life. An evaluation carried out in 2016 by the Desarrollo Humano e Inclusión Social de la Universidad Católica Argentina [Interdisciplinary Program on Human Development and Social Inclusion of the Argentine Catholic University] (UCA) affirmed after two years of research that housing resulted in a clear improvement in terms of privacy, sense of security, interpersonal relationships, mood and perception of well-being [7].

Similar evaluations carried out earlier had also identified positive impacts on satisfaction with housing, perception of quality of life and safety and quality of sleep.

Following the publication of the preliminary report of the UCA evaluation, the organization retained the services of a consultant, INSITU, to carry out a further impact evaluation of the program, focused on qualitative issues [8]. Instead of structured surveys with a large number of households, a methodology which aimed to obtain statistical data, interviews and focus groups were conducted with targeted groups and individuals who had participated in the mediagua program in order to deepen understanding of the perceptions and opinions of the people who inhabited these housing units. The objective was to complement the results of the UCA evaluation and learn more about the reasons why housing had an impact on some aspects of people's lives and not on others.

Both evaluations reached the same conclusion. The main cause of residential satisfaction with the mediagua project was the constructive quality of the

aprendiendo más sobre las causas por las que la vivienda generaba impacto en algunos aspectos de la vida de las personas y por las que no en otras.

Ambas evaluaciones llegan a la misma conclusión. La principal causa de satisfacción residencial con el objeto mediagua es la calidad constructiva de la vivienda de emergencia entregada, sobre todo en los casos en los que los hogares la usan para ampliar su residencia, disminuyendo el hacinamiento. Cumple la función de refugio frente a la lluvia, el frío y la humedad y “esta necesidad básica de protección [...] es la condición mínima para que el habitar se despliegue posible [8]”.

Pero esta satisfacción se reduce en el tiempo.

Efectivamente, las personas entrevistadas con más tiempo en la vivienda de emergencia demostraron estar más insatisfechas. Por sus propias limitaciones, la mediagua no había podido absorber las variaciones en el hogar, el crecimiento vegetativo (nuevos miembros) ni la necesidad de ampliaciones. Además, por los materiales con los que está fabricada – madera de baja calidad sin tratar – la calidad de la solución constructiva disminuye por el uso cotidiano y con el paso del tiempo.

Por tanto, dentro de la trayectoria habitacional de las familias, la mediagua se presenta como una oportunidad beneficiosa para mejorar las condiciones actuales pero que opera como un mientras tanto se concretan las aspiraciones de lo que esperan sea su vivienda definitiva [8]. La mediagua no ofrece la posibilidad de insertarse dentro de este continuum residencial, apoyándolo o facilitándolo, sino que queda como un módulo aparte que ofrece un refugio inmediato mientras que, en paralelo y por otro lado, cada familia busca la forma de lograr su vivienda final deseada.

Y este es uno de los principales problemas de este diseño. Existen numerosas referencias que hace ya tiempo explicitaron lo que siempre se ha dado por supuesto en las barriadas populares: la vivienda es un proceso [9], y en la producción social del hábitat queda más patente que en ningún otro sitio. En los asentamientos, los habitantes continuamente modifican su entorno y sus viviendas, adaptándolas en la medida de sus posibilidades a sus necesidades a lo largo del tiempo. Este proceso es definido en numerosas referencias como sistema de construcción progresiva [10].

Según el informe del BID comentado anteriormente, este sistema de construcción progresiva resulta en un déficit cualitativo del patrimonio habitacional construido y el reto para disminuirlo está, entre otras

emergency housing provided, especially in cases where households used these modules to expand their existing dwellings, reducing overcrowding.³ These modules fulfilled the function of providing shelter from the rain, cold and humidity and “this basic need for protection [...] is the minimum condition for the habitation to unfold as possible” [8].

However, this satisfaction diminishes over time.

In fact, the people interviewed who had spent the longest in emergency housing proved to be the most dissatisfied. Due to their structural limitations, mediagua are not able to absorb changes in households, demographic increase (new family members) or the need for extensions. In addition, due to the materials with which the modules were constructed – low-quality untreated wood – the performance of the constructions progressively declines due to daily use and the passage of time.

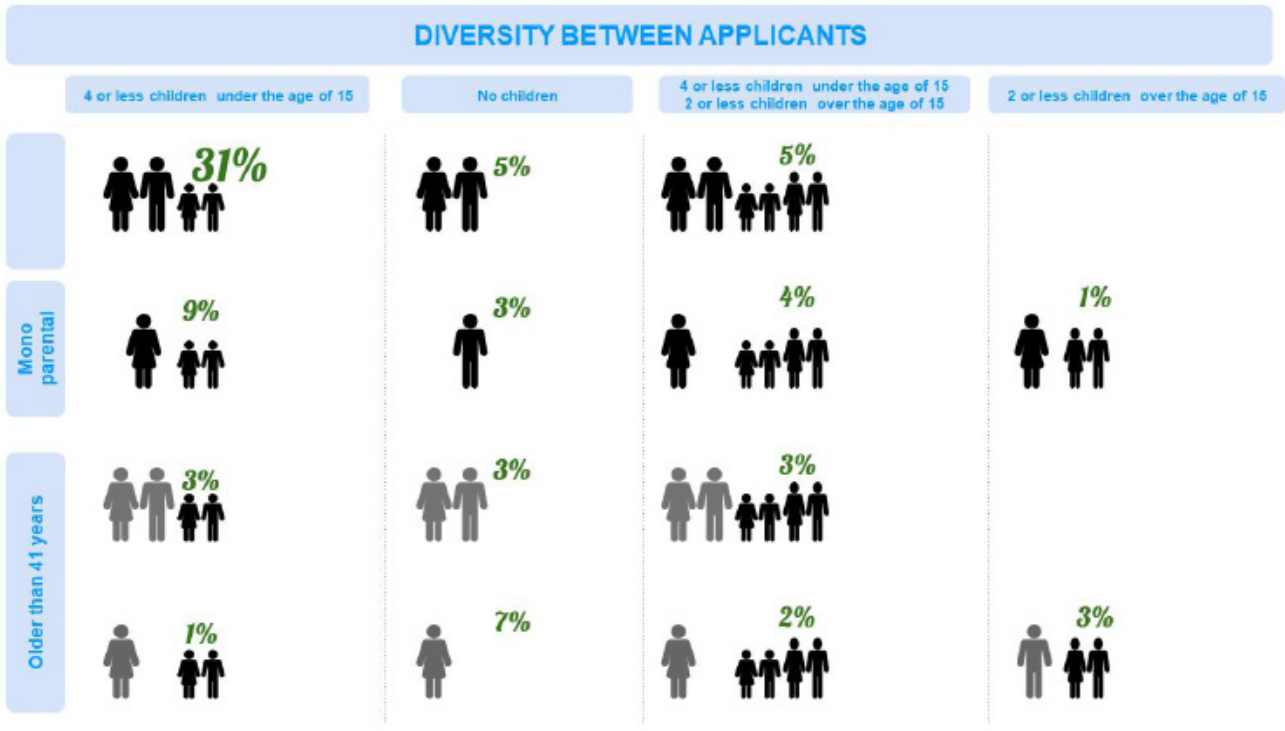
Families therefore saw mediaguas as valuable in terms of immediate shelter, but also as a “meanwhile” solution. These dwellings were seen as being outside the housing trajectories in which households were attempting to realize their aspirations for what they desired as permanent homes.⁴ This was one of the main problems with the mediagua design. Numerous studies have, for a long time now, explicitly stated what has always been taken for granted in popular neighbourhoods: housing is a process, a verb [9], and this is more evident in the social production of habitat than anywhere else. In settlements, inhabitants continually modify their environments and their dwellings, adapting them to their needs over time as much as they are able. This process is defined in a number of studies as a progressive construction system [10].

According to the IDB report mentioned above, this progressive construction system results in a qualitative deficit in housing stock. Amongst other factors, the challenge to reduce this deficit can be identified with the question of how to improve the quality of those progressive construction processes carried out by marginalized populations.

Added to this question, implicit to the very logic of social production is the fact that the diversity of existing housing needs demands an equivalent flexibility in approaches to housing. Mediagua do not offer this flexibility. The research and development area of TECHO carried an analysis of the results of the surveys carried out by volunteers with households applying for housing. It became evident that despite the marked diversity between applicants, the single response given by the organization was always the same. This motivated TECHO search for a more flexi-

(3) Result of evaluating certain objective attributes of the residential environment by the individual who inhabits [15]

(4) Set of changes in residence and changes in the location of a home in the urban environment. Trajectory refers to the relationships that exist between residential mobility and social mobility [16]



cosas, en cómo mejorar la calidad de esos procesos de construcción progresiva que desarrollan las poblaciones más vulnerables.

A esta cuestión, por la propia lógica de la producción social, se suma el hecho de que la diversidad de necesidades habitacionales existentes necesita de una variedad equivalente de planteos [11] y la mediagua no ofrece esa versatilidad. Como ejemplo ilustrativo, dentro del área de investigación y desarrollo de TECHO, se realizó un análisis de la base de datos de las encuestas realizadas por el voluntariado a los hogares solicitantes de vivienda y se pudo observar la gran disparidad de configuraciones familiares a las que con el modelo mediagua siempre se les iba a dar la misma respuesta (Fig. 2)

5. HIPOTESIS DE MEJORA

Habiendo estudiado todas estas cuestiones, cuando se comenzó con la tarea de desarrollar un nuevo modelo para mejorar el desempeño del programa de construcción de vivienda de emergencia de TECHO, se llegó a la conclusión de que había que superar el concepto de un modelo único de vivienda transitoria

Pero si la misión es apoyar en la superación de la precariedad habitacional a largo plazo, el objetivo del proyecto debía ser desarrollar un sistema constructivo que permitiera que la inversión de recursos que ofrecía TECHO a las familias pudiera ser capitalizada por estas dentro de su trayectoria habitacional de la forma más eficiente.

Para ello, se habría de tener en cuenta los siguientes conceptos.

ble solution. (Fig. 2)

5. HYPOTHESIS FOR IMPROVEMENT

Having identified the issues described above, when the task of developing a new model to improve the performance of TECHO’s emergency housing construction program was initiated, it was established that the concept of a single transitory housing model had to be improved on.

However, if the mission was to support long-term solutions to housing precariousness, the objective of the project would have to be the development of a construction system that would allow families to capitalize on the investment of resources that TECHO offered them in their housing trajectories in the most efficient way. To this end, the following concepts had to be taken into account.

First, the design had to be scalable for large-scale implementation. The scale of the demand for housing is such that broadscale solutions are needed in order for a meaningful impact to be achieved. Even state supported housing policies have shown that providing finished housing solutions, in the absence of unlimited resources, does not achieve significant impact in quantitative terms. The solution, then, seems to be to disaggregate the different elements which make a dwelling and “attack” on a massive scale, focusing on the most urgent needs in each particular case [11].

However, in order to ensure that the best available response is made available in each case, it must be ensured that solution offered be flexible enough to meet the specific needs present in each situation

Fig.2. Diversity between applicants. Figure by the author (2017)

Primero, la propuesta tenía que ser masiva y escalable. Si el objetivo es generar impacto con el trabajo realizado, el tamaño de la demanda es tal que se necesita desarrollar soluciones masivas. Incluso políticas habitacionales estatales han demostrado que dar soluciones de viviendas completas, en la escasez de recursos, no supone un cambio significativo en términos cuantitativos. La solución parece entonces que pasa por desagregar los elementos de una vivienda y “atacar” de forma masiva y en cada caso el mayor nivel de urgencia [11].

Pero para poder asegurar que en cada caso se ofrece la mejor respuesta, hay que asegurar que la que se ofrece sea flexible en la medida suficiente como para abarcar las necesidades específicas de cada situación [12]. Además, estas soluciones desagregadas y parciales precisaban ser definidas con la participación de los hogares beneficiarios. Son los mayores expertos en su necesidad y los que mejor saben cómo invertir los recursos dados. El papel de TECHO habría de ser “democratizando la técnica [1]” poniendo a disposición el sistema constructivo para adaptarse a la situación específica de cada familia y asesorándola en sus potencialidades.

Por último, la necesidad no termina con la construcción efectiva de la nueva vivienda. Los recursos que tiene TECHO para ofrecer soluciones no alcanzan para dar por resuelta la precariedad y por tanto, el nuevo diseño habría de ser progresivo para asegurar que se inserta dentro de la trayectoria habitacional de cada hogar, aceptando y facilitando mejoras y ampliaciones posteriores. Y para lograr esto de la forma más eficiente, también habría de ser abierto, es decir, compatible con los sistemas constructivos más extendidos en los asentamientos donde se va a construir, asegurando el mayor número de alternativas posibles para lograr mejorar el estándar de la vivienda [13].

6. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Planteados los objetivos, a continuación se resume brevemente la metodología empleada para desarrollar la nueva propuesta de sistema constructivo. Para ello, había que ir considerando cada uno de los condicionantes que TECHO, por su modelo de trabajo y tipo de organización, imponían a la hora de pensar nuevas propuestas. El primer “mínimo” era el hecho de que cualquier diseño que se planteara habría de ser prefabricado. Las razones de este condicionante son varias pero se podría indicar como la principal el hecho de que la organización no pensaba renunciar a su modelo de trabajo de construcción en dos días. Esto obligaba a mantener lógicas de construcción rápida que sólo podían ser resueltas con técnicas de prefabricación.

Un estudio del estado del arte en esta materia llevo a clasificar los tipos de construcción prefabricada existentes en tres grandes grupos, en base a los con-

[12]. Furthermore, these disaggregated solutions needed to be identified through processes which include the participation of beneficiary households. These people are the greatest experts on their own needs and best know how to invest the resources available. TECHO's role should be “democratizing skill” [1] by making construction systems available to be adapted to the specific context of each family and advising this family about the options a given system offers.

Finally, need does not disappear with the physical construction of a new home. The resources that TECHO has to offer are not sufficient to resolve the fundamental issue of precariousness. Therefore, the new design had to be incremental in order to ensure that it could be made to fit within the housing trajectory of each family, being compatible with and facilitating subsequent improvements and extensions. And to achieve this in the most efficient way, the design also had to be open, that is, compatible with the most common construction systems already used in the settlements where it would be implemented, ensuring that as many alternatives as possible are available to improve the housing standards [13].

6. DEVELOPMENT OF THE PROPOSAL

The objectives having been established, the methodology used to develop proposal for the new construction system is summarized briefly below. In this process, the conditions that TECHO imposed in terms of the selection of a model, which were due to the capacity and organisation of the CSO, had to be taken into account. The first basic criterion was that any design be prefabricated. The reasons for this condition are numerous, but the main one can be identified as the fact that the organization did not intend to give up its model of a two-day construction period. This condition demanded very high construction turnaround rates that can only be achieved through the use of prefabrication.

A study of state-of-the-art technology in this area led to a classification of the existing types of prefabricated construction into three categories, based on the conditions imposed by TECHO and the context in which construction occurs. These three categories were heavy systems (subdivided into construction systems with large panels and three-dimensional models), light systems (individual components weighing less than 500kg) and systems industrialized “in situ” [14]. A decision was taken early on in the process to rule out the use of designs falling into the first and third categories.

Those in the first group, heavy industrialized systems with large components (more than 500kg each) require specialized machinery for their manufacture and assembly. This is impossible given the technologies available in the existing carpentry workshops. Furthermore, transporting heavy components into

dicionantes de TECHO y del contexto en el que se insertaba el desarrollo. Se dividió todo posible sistema en sistemas pesados (divididos a su vez en sistemas constructivos de grandes paneles y modelos tridimensionales), sistemas livianos (menos de 500kg cada componente) y sistemas industrializados "in situ" [14]. Rápidamente se descartó avanzar con diseños perteneciente al primer y tercer grupo.

Los del primer grupo, sistemas industrializados pesados, con componentes de grandes dimensiones (más de 500kg cada uno) necesitaban maquinaria especializada para su fabricación y para su construcción, imposible con las tecnologías disponibles en la carpintería y muy complicados de hacer llegar a los asentamientos (donde las vías de acceso siempre son complicadas). Podría haberse analizado invertir en mejorar las tecnologías disponibles pero el segundo condicionante era mantener en la medida de lo posible la economía de recursos. Al lograr sus recursos mediante donaciones, no se puede permitir viviendas de elevado coste o grandes inversiones y esto es algo que marcó las propuestas evaluadas.

Por otro lado, estos sistemas precisaban mano de obra muy cualificada y el tercer condicionante del desarrollo era mantener la sencillez constructiva para poder seguir trabajando con voluntarios, innegociable para TECHO.

Los sistemas industrializados "in situ", donde la prefabricación se realiza en la propia parcela donde se construye, se descartó por razones similares. Necesitaban mano de obra cualificada no disponible y, por la propia lógica de estas técnicas, precisaban mucho más tiempo que los dos días máximos de construcción de los que se disponían.

Se definió pues avanzar en la línea de diseños livianos. Dentro de este grupo, por ejemplo, se podía encuadrar la mediagua. Construida a base de paneles autoportantes de entre 80 y 120 kg cada uno, ya había demostrado la posibilidad de ser construida por voluntarios y la viabilidad de enviar a asentamientos. Dentro de ese mismo grupo se podía pensar en diseñar componentes flexibles que permitieran muchas más configuraciones que el diseño único de la mediagua.

Analizando las posibles opciones que ofrecía este grupo, se llegó a una nueva clasificación: sistemas de paneles autoportantes, donde los mismos componentes resuelven envolvente y estructura, y sistemas de estructura independiente, a base de componentes estructurales y componentes de cerramiento.

Se definió entonces desarrollar propuestas en ambas líneas y se tomó la decisión de que fuera un análisis objetivo entre ellas y contra la mediagua la que definiera la nueva propuesta a implementar. Existen numerosos precedentes de sistemas constructivos en los que basarse en cada opción en búsqueda de

settlements is very difficult, as these areas always have poor accessways. An analysis of the feasibility of investing into more technology was also decided against based on another criteria, that of making the most economic possible use of existing resources. As resources are gathered through donations, high-cost housing and large investments are simply not possible, and this was a factor in the evaluation of proposals.

Finally, these systems tend to demand highly skilled labour. A third criteria put in place by TECHO was that that constructive simplicity be maintained in order to facilitate the ongoing and indispensable participation of volunteers.

Industrialized "in situ" systems, where prefabrication is carried out on the construction site itself, were also ruled out on the basis of the reasons stated above. These also demand unavailable skilled labour, and by their nature they require more than two days for complete on-site construction.

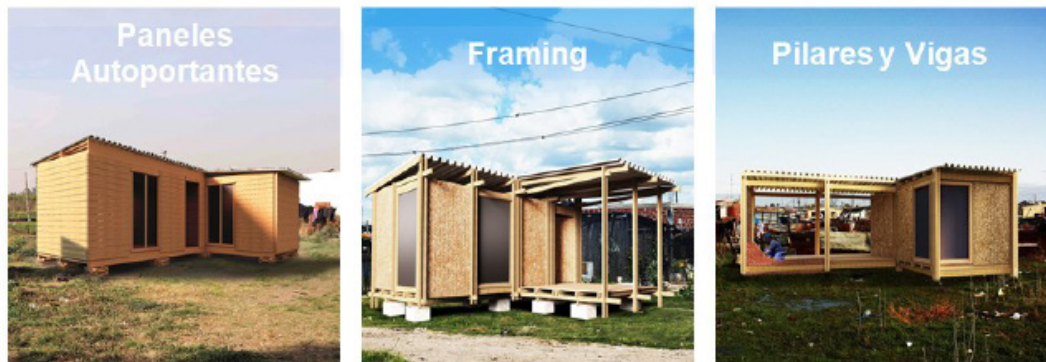
A decision was therefore made to advance with options reduced to those solutions categorized as lightweight designs. The original mediagua fell into this category. Built with free standing panels weighing between 80 and 120kg each, its transport into settlements and construction with volunteer labour was amply demonstrated in practice. Within this category of designs, it is possible to include more flexible components adaptable to many more design configurations than the single option offered by mediagua.

Analysing the possible options offered within this group, a second classification was established: self-supporting panel systems, where the same components resolve both the envelope and structure, and independent structure systems, based on separate structural and cladding components.

A decision was taken to further develop proposals of both types. A final decision on the new model to be implemented was taken based on an objective comparison between these proposals and the original mediagua. In both categories of construction system numerous existing examples existed on which to base adaptable and flexible designs. These include the 8x8 Dismountable House by Jean Prouvé, the Dutch S.A.R system by Habraken, and the Finnish Moduli system, to name a just few of the most interesting.

Three different proposals for a new construction system were developed for further consideration by TECHO (Fig. 3). These sought to surpass the "performance" of the mediagua, fulfilling several or all of the set objectives while meeting the established constraints. In order to determine which of the proposals to implement, indicators were established for each of the established objectives and constraints,

Fig.3.
The proposals. Images by the author (2017)



formas flexibles y adaptables para construir. La Casa Desmontable 8x8 de Jean Prouvé, Habraken y el sistema S.A.R o el sistema Moduli finlandes, por citar algunos de los más interesantes.

Así, se desarrollaron tres propuestas diferentes de sistemas constructivos para TECHO que buscaban superar la “performance” de la mediagua cumpliendo varios o todos de los objetivos marcados y superando los condicionantes. Para poder definir cuál iba a ser el nuevo sistema a implementar, se definieron indicadores por cada uno de los objetivos y condicionantes marcados, estimando el desempeño de cada diseño (Fig. 3). En paralelo se realizaban pruebas de producción y construcción en las carpinterías para testear la viabilidad técnica. Con toda esa información, se reunió al grupo directivo de la OSC y asesores externos, expertos en materia de vivienda y producción social, para presentarles los resultados y definir con qué diseño avanzar.

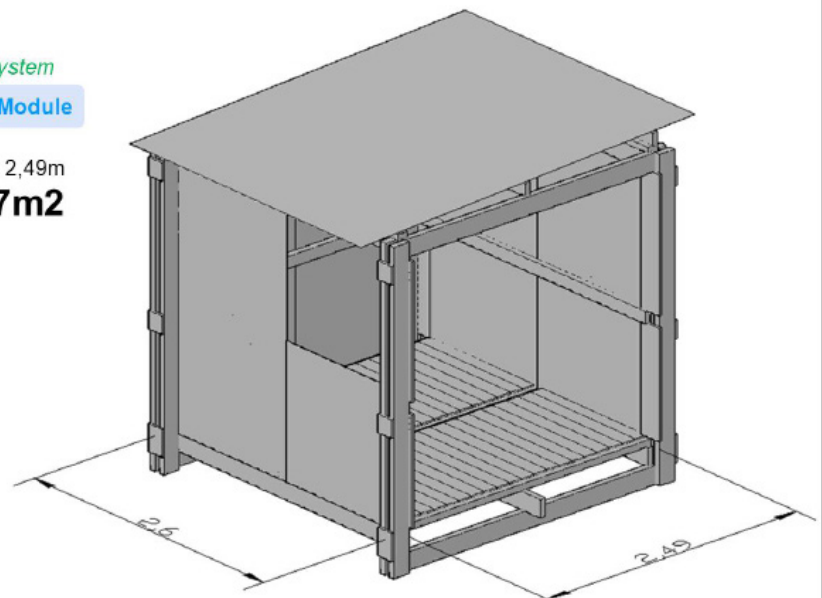
La propuesta con la que se definió avanzar estaba encuadrada dentro de los sistemas industrializados con esqueleto independiente, a la que se bautizó como Vivienda Semilla. El diseño consiste en un módulo básico de aproximadamente 6 m²s de superficie útil, de 2.6 x 2.49 metros (Fig. 4). La estructura se resuelve con apoyos puntuales en cada esquina, con

and the performance of each design was estimated with respect to these criteria. In parallel, production and construction tests were carried out in the carpentry workshops to test technical feasibility. The CSO steering group and external advisers, experts in housing and social production, met to consider all the information available and decide which design to take into the next stage.

The proposal selected came from the category of industrialized systems with independent framework. It was given the name “Vivienda Semilla [Seed House]. Its design consists of a basic module containing a net internal area of approximately 6 m², 2.6 x 2.49 meters (Fig. 4). The structure is resolved with uprights in each corner and open wall planes accommodating the 1.2m standard width of sheet material available in the Argentine market. Of the proposed designs, it was the most expensive, approximately 20% more expensive than the original mediagua for the same surface area built (18m², 3 módulos). This implied a reduction in the number of units that could be produced. Despite this, on the recommendation of both the external advisors and the organization’s own R&D area, TECHO’s management group decided to adapt this design due to the potential it offered to increase the quality of the housing program.

Fig.4.
Final design: Vivienda Semilla. Figure by the author (2017)

“VIVIENDA SEMILLA”
Independent Structure System
Basic Module
2,6m x 2,49m
6,47m²



paños libres en cada fachada, modulados para aceptar las medidas estándar comerciales de cualquier placa disponible en el mercado argentino, 1,22m de ancho. De los diseños propuestos, era el más caro, aproximadamente un 20% más que la mediagua, con su consiguiente bajada en números totales de vivienda. Pero por recomendación de los asesores externos, y el área de I+D, el grupo directivo de TECHO definió avanzar por la potencial mejora que ofrecía en la calidad del programa.

Este módulo básico se desarrolló pensando en permitir múltiples configuraciones mediante la adhesión de un número indefinido de ellos. Así se podía cumplir los dos primeros objetivos de flexibilidad y participación, definiéndose la configuración final de los módulos dados junto con las familias, adaptándose al terreno y a las preexistencias. De hecho, como las ventanas y puertas podían ser ubicadas en cualquier paño, se solucionaba un problema grave de aperturas "condenadas" contra paredes o medianeras de la vivienda anterior.

Pero el factor diferencial de esta nueva Vivienda Semilla era el hecho de posibilitar la sustitución de toda la envolvente una vez construida sin afectar a la estructura. Esto permitía primero reasignar los recursos invertidos por la OSC por vivienda. Invertir la mayor parte en construir estructuras, cimentaciones y cubiertas de buena calidad - evaluaciones de impacto realizadas concordaban que era de los aspectos más valorables de la vivienda [7] - que estén pensados para forma parte de una vivienda "definitiva" y usar una envolvente de menor calidad pero que permita cubrir las necesidades urgentes de refugio. De esta manera, en el forjado se usan vigas de madera tratada de gran canto para asegurar durabilidad contra el terreno y mínima flecha diferida en el tiempo y pilares de madera de alta densidad y dimensiones suficientes para resistir envoltentes de mejor estándar y mayor inercia.

Y es que, por la tipología constructiva, el sistema es abierto y compatible con prácticamente cualquiera de las técnicas constructivas empleadas en los asentamientos. Cada uno de los paños de la envolvente y el propio forjado de la Vivienda Semilla podían ser sustituidos por materiales de mayor estándar (como ladrillo y hormigón) quedando la estructura y la cubierta como parte de la futura vivienda.

El informe del HPH [10] indicaba que era clave mejorar en la progresividad la calidad de las estructuras, cuestión que esta vivienda semilla busca facilitar. Un análisis realizado durante el desarrollo estimaba que para duplicar la cantidad de m²s otorgados por TECHO y convertirla en una vivienda de materiales adecuados (según estándares de vivienda mínima), una familia iba a gastar un 20% menos de materiales y recursos económicos progresando sobre la vivienda semilla que construyendo de 0 (escenario que iba a suceder si el punto de partida era la mediagua o

This basic module was designed with the intention that it facilitate the flexible addition of an unlimited number of further modules. Thus, the first two objectives of flexibility and participation could be met. A decision defining the final configuration of the modules could be taken together with families, adapting construction to the terrain and pre-existing conditions. As windows and doors could be placed on any of the wall planes, the serious problem of "blind" openings facing external or party walls of the previous mediagua was solved.

The feature that made this new Semilla house unique was the fact that the design made it possible to replace the entire building envelope post-construction without affecting structural elements. This enabled the CSO to reallocated resources. More was directed towards building high quality structural elements, footings and roofs. The impact evaluations carried out agreed that these were amongst the most valued components of homes [7]. The idea was therefore that these could later become part of a "definitive" home, while a lower quality envelope could meet the immediate need for shelter. To this end, thick treated wooden beams were used in the framework to ensure durability against the ground and minimum deflection over time. High density wooden uprights were designed with a cross-section adequate to support higher quality, heavier envelopes than those initially installed.

Due to the type of construction involved, the system is open and compatible with practically any of the construction techniques currently used in the settlements. The building envelope of the Semilla houses and the wall framing itself could be replaced by materials of a higher standard (such as brick and concrete), leaving the structure and roof as part of the future house.

A Habitat for Humanity report [10] indicated that it was key to progressively improve the quality of housing, an issue that this Vivienda Semilla sought to facilitate. An analysis carried out during the development process estimated that to double the square meters allocated to a family unit by TECHO and convert the dwelling into one of superior quality meeting legal minimum standards, a family could save 20% in terms of both money and materials by extending a Semilla house rather than by starting from zero, a mediagua, or an improvised construction. By making it possible for families to capitalize on the structure of the Semilla house within their housing trajectories, the aim of reducing the total amount of resources necessary to build a house of a better standard was met.

To summarize, the Semilla house construction system sought to offer a flexible and incremental solution adaptable to a diversity of different cases of vulnerability, providing a quick response to the urgency of these situations while being efficient in terms of

cualquier otra subvivienda improvisada). Al poder capitalizar la estructura de la Vivienda semilla dentro de su trayectoria habitacional, se buscaba reducir la cantidad de recursos totales necesarios para construir una vivienda de mejor estándar.

En resumen, el sistema constructivo de Viviendas Semilla busca ser una solución flexible e incremental que se adapte a la naturaleza de las diferentes situaciones de vulnerabilidad, les dé una respuesta rápida frente a su urgencia y eficiente en el uso de recursos materiales, facilitando que el esfuerzo invertido esté alineado con los siguientes pasos a dar. Con esto, se quiere acercar a TECHO a formas de trabajo más estratégicas – más quirúrgicas – donde el recurso invertido sea aprovechado para mejorar las preexistencias y optimice el gasto en los futuros pasos.

7. IMPLANTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Superada la etapa de desarrollo, se comenzó con las pruebas de implementación en terreno durante la segunda mitad del año 2017 y los años 2018 y 2019. En total, se construyeron 158 Viviendas Semilla en 8 provincias diferentes, 29 viviendas en 2017, 80 en 2018 y 49 viviendas más en 2019 (Fig. 5).

En las primeras construcciones, el objetivo era testear la capacidad productiva y logística y estudiar la calidad de la vivienda construida, mejorando posibles ineficiencias y errores.

Superado esto, en las grandes construcciones masivas el objetivo era testear el proceso social, donde los equipos de voluntarios previamente capacitados fueran los que lideraran todo el proceso, aprovechando las nuevas posibilidades de adaptación y progresividad. Para ello, se desarrolló un manual de co-creación, que ayudara a los voluntarios a asesorar a cada hogar en la mejor forma de insertar esta nueva Vivienda Semilla dentro de su trayectoria habitacional, y un manual de progresividad, con sugerencias para que los hogares pudieran mejorar la vivienda una vez construida de la forma más eficiente posible.

Para hacer una primera evaluación de resultados obtenidos, durante la segunda mitad de 2020 TECHO realizó un monitoreo de la mayor cantidad de Viviendas Semilla construidas posible. Del total, consiguió relevar 83 viviendas.

Un primer análisis de los resultados muestra que menos de la mitad de las viviendas – un 43.9% - han sido progresadas de alguna forma (entendieron como progresión mejoras en la envolvente, uniones a construcciones preexistentes y ampliaciones de la vivienda). Un 20,7% del total de los hogares le ha realizado al menos una mejora a la envolvente (el 88,2% en las paredes), un 7,2% del total efectivamente ha unido la vivienda a alguna construcción preexisten-

the use of material resources, especially by facilitating that the effort invested is not lost when further steps towards obtaining quality housing are taken by users. The model sought to allow TECHO to work more strategically - more surgically - and ensure that the resources invested go towards both improving pre-existing conditions and optimizing spending in future steps.

7. IMPLEMENTATION AND DISCUSSION OF RESULTS

Following the development stage, field implementation tests began during the second half of 2017 and continued into 2019. In total, 158 Semilla houses were built in 8 provinces, 29 homes in 2017, 80 in 2018 and 49 in 2019 (Fig. 5).

In the earliest constructions, the objective was to test production and logistics capabilities and to assess the quality of the assembled units, in order to reduce inefficiencies and correct any problems that emerged.

Following on from this phase, the objective in larger scale construction was to test the social processes. Here, trained teams of volunteers lead the entire process, taking advantage of the new possibilities for adaptation and progressive construction. To this end, a co-creation manual was developed, which helped the volunteers advise each household on the best way to incorporate its new Semilla house into their housing trajectory, and a progression manual, with suggestions for households on how they could continue to improve their houses after moving in in the most efficient way possible.

For the purposes of a preliminary evaluation, over the second half of 2020 TECHO monitored as many of the new Semilla houses as possible. This covered 83 homes.

The results showed that less than half of the homes - 43.9% - had been improved in some way. The improvements recognized included upgrades in the envelope, connections to pre-existing buildings and extensions of the house. 20.7% of all households had made at least one improvement to the envelope (88.2% to the walls), 7.2% of the total had linked the house to a pre-existing construction and 32.5% of the total had carried out new construction following the construction of the Semilla House (of which 77.8% were extensions of the Semilla house itself).

When families were asked why they had not made any improvements, 59.5% answered that this was due to economic reasons. Of all households surveyed, in only 13.3% of cases did at least one of the members have formal employment (held a legal contract) with a stable income, while 6% of households reported not having any income at the time of the survey. The remainder had irregular income from



Fig.5. Different configurations of the new design. images by the author (2017)



te y un 32,5% del total ha realizado una nueva construcción posterior a la construcción de la Vivienda Semilla (de las cuales el 77.8% estaba vinculada a la vivienda de TECHO).

Cuando se les preguntó el porqué a las familias que no habían realizado ninguna mejora, el 59,5% respondieron que debido a su situación económica. Del total de los hogares encuestados, solo en el 13.3% de los casos al menos uno de los miembros tiene un empleo formal (contratado en blanco) con ingreso estable frente a un 6% que declaró no tener trabajo en ese momento. El resto tenían ingresos irregulares provenientes del mercado informal. Se puede observar por tanto que, cruzando esto con las mejoras efectivamente realizadas a la vivienda, el porcentaje de viviendas mejoradas con uno de sus miembros con trabajo formal fue mucho mayor (72.7%) que en los otros dos casos (50.7% en los casos de empleo informal y 0% en los que no trabajaba nadie).

Esto pone de manifiesto la necesidad de complementar este tipo de sistemas constructivos incrementales con microcréditos de mejoramiento de vivienda y otras herramientas financieras. De hecho, el

the informal market. Integrating these two datasets produces interesting results. Where one household member had a formal job the proportion of cases in which improvements were made was much higher: 72.7%. In the case of irregular income, the incidence was 50.7%, while in the cases where no income was available it declined to 0%.

The above highlights the need to complement this type of incremental construction system with home improvement microcredits and other financial tools. The research and development section of the CSO is currently working in this area, in collaboration with external agents specialized on the subject.

Apart from the issue of income, another 11.9% of families had not made improvements due to issues that can be linked with pre-construction social process. 7.1% of households indicated that they did not know that the house could be improved, which demonstrated a need to reinforce the training of volunteers and ensure that this information was delivered correctly, and suggested the possibility of investing in follow up technical assistance.

área de investigación y desarrollo de la OSC está trabajando a día de hoy en esa línea, aliado con agentes externos especializados en el tema.

Por otro lado, otro 11,9% de las familias no han realizado mejoras por cuestiones que implican al proceso social previo. Un 7.1% indicaba que no sabía que se podía mejorar la vivienda, lo que demuestra la necesidad de reforzar la capacitación de los voluntarios para asegurar que esa formación llega correctamente e, incluso, invertir en una asistencia técnica posterior.

El otro 4.8% indicó que el terreno donde se construyó la vivienda no es donde pretenden desarrollar su habitar. Esto pone de manifiesto una cuestión clave que no se tuvo presente a lo largo del desarrollo. Si la Vivienda Semilla no va a ser mejorada sino que va a ser usada como un alojamiento transitorio, ¿no es más conveniente entregar una mediagua, dado que supone una inversión de recursos menor?

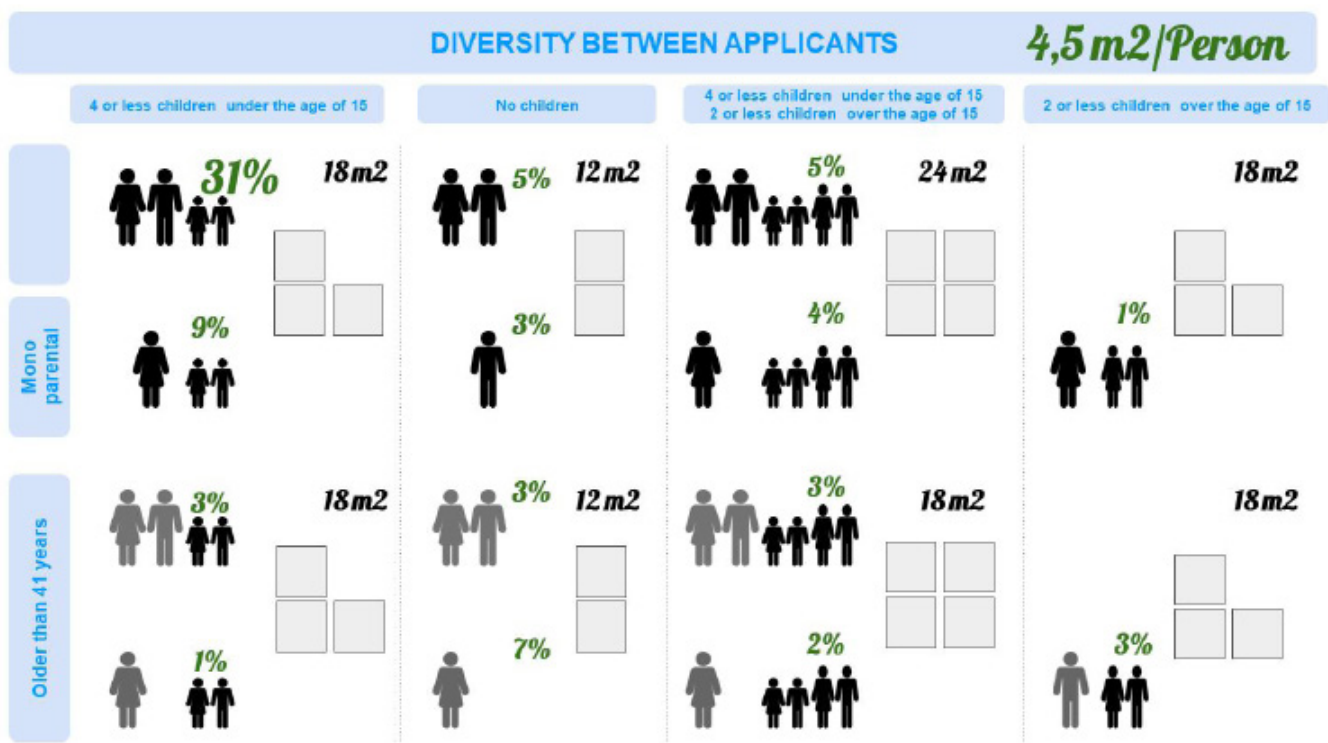
En cuanto al hacinamiento (uno de los principales problemas déficit cualitativo habitacional), se puede considerar más exitosa la Vivienda Semilla que la mediagua. Durante el proceso previo, se propuso redistribuir la cantidad de módulos de 6m2s entregados. En vez de los 3 módulos que habrían correspondido (igualando los 18 m2s de la mediagua), se propuso entregar un módulo más a familias numerosas, reduciendo en la misma cantidad a los hogares compuestos por uno o dos individuos (Fig. 6). Analizando los resultados, aunque se reduce la superficie en los hogares con menos miembros - de 9.65 m2/persona en el caso de la mediagua a 6.4m2/persona - se mantiene un número muy superior al

Another 4.8% of households indicated that the site where the house was built was not where they ultimately intend to establish their homes. This highlights a key issue that was not taken into account in the development process. If the Semilla house is not in fact going to be improved, but is instead going to be used as temporary housing, is it not better to provide a mediagua as this involves a smaller investment of resources?

With respect to overcrowding (one of the main problems in qualitative housing deficit), Semilla houses can be considered more successful than mediagua. During the development process, a decision was taken to redistribute the number of 6m2 modules delivered. Instead of universally providing 3 modules, which totalled the same 18m2 of floor area as a mediagua, one more module was delivered to large families, and one less to households including one or two individuals (Fig. 7). Analysing the results, although the per person surface area in households with fewer members was reduced - from 9.65m2/person in the case of the mediagua to 6.4m2/person - this is still above the 4.5m2/person minimum suggested in these emergency contexts [15]. Meanwhile, by providing an extra module for the largest families the floorspace provided increased from 3.3m2/person (mediagua) to 4.4 m2 person (Semilla).

Finally, a survey of the current state of the Semilla houses was carried out, seeking to evaluate the quality of the construction itself, especially in comparison with mediaguas. In this area the Semilla houses exhibited notable quality issues, specially in the envelope. In 49.4% of cases problems were reported with leaking walls, in 41% some breakage or damage

Fig.6. Different surface area configurations by family. Figure by the author (2017).



mínimo sugerido en estos contextos de urgencia (4,5m²/persona [15]). Pero en los casos más graves se consiguió mejorar hasta casi alcanzar ese número - de 3,3m²/persona (mediagua) a 4.4 m²/persona (VSemilla).

Por último, se hizo un relevamiento del estado actual de la Vivienda Semilla buscando evaluar la calidad de la solución constructiva en sí y en comparación con la mediagua. En esto la Vivienda Semilla demostró un peor resultado con problemas constructivos sobre todo relacionados con la envolvente (por citar algunos, 49,4% dijo tener problemas de infiltraciones en la pared, 41% alguna rotura o daño en los forjados de madera y 34.9% ingreso de agua por ventana y puerta). En comparación, la mediagua resulta ser muy superior. En la evaluación de impacto realizada por la UCA se relevó que un 18% de las mediaguas tenían problemas de infiltraciones, 11.2% tiene algún daño en los forjados y el 18% tuvo problemas con las ventanas.

Parte de la razón de la calidad inferior es por una deficiente ejecución, aún hay una curva de aprendizaje

in the wooden framework and in 34.9% ingress of water through windows and doors. By comparison, mediaguas perform much better. In the impact evaluation carried out by the UCA, it was found that only 18% of the mediaguas had leakage problems, 11.2% exhibited some damage to the flooring and 18% had problems with the windows.

Part of the reason for the inferior quality was poor execution, as the learning curve has not yet been completed. Virtually all the volunteers who built each Semilla house did so for the first time. Another factor was quality control issues at TECHO's industrial carpentries, which can be traced back to similar causes. Many issues can be resolved with experience and training.

However, the main cause is probably the design itself. Prioritizing the quality of the independent structure, into which the majority of resources are invested, meant compromises in terms of the quality of the building envelope, which was understood as temporary and designed with a short service life. However, as has been stated, in the absence of ad-



Fig. 7. Different improvements made by families to thier Semilla houses. Images by the author (2021)



por recorrer. Prácticamente todos los voluntarios que construyeron cada Vivienda semilla lo hacían por primera vez. Otra causa es una producción mejorable por parte de las carpinterías industriales de TECHO por las mismas razones. Todo ello solucionable con más experiencias y capacitación.

Pero seguramente la principal causa sea el propio diseño. Priorizándose la calidad de la estructura independiente, con la mayor parte de los recursos invertidos en ella, se solucionó de forma más precaria la envolvente, pensada para ser temporal y con una vida útil mucho menor. Pero como se ha visto, a falta de recursos añadidos – como financiación y asistencia técnica – esta envolvente pasa a ser definitiva (hay viviendas que hace más de 4 años que no sustituyen esta envolvente).

Reorientar los recursos, bajando la calidad de la estructura –reduciendo escuadrías y usando materiales más económicos – en pro de una envolvente de mejor calidad que solucione los problemas, o sincerar los limitantes actuales y asegurar con el trabajo previo en territorio que estas viviendas de momento lleguen a aquellos hogares que, sin herramientas adicionales de financiación, vayan a poder aprovechar sus potencialidades, serían algunas posibles líneas de mejora.

Como sea, no se puede discutir que este nuevo tipo de vivienda permitió a muchas familias capitalizar la entrega de TECHO en sus proyectos hacia la vivienda adecuada. De momento, la mayoría son pequeñas ampliaciones, conexiones a pre existencias y mejoras de lo construido pero interesa continuar estudiando el avance en el tiempo de esas viviendas y desarrollar en paralelo nuevas herramientas que faciliten estos procesos allí donde las condiciones sean más extremas. Pero se tienen ya casos de Viviendas Semillas completamente transformadas, validando que es posible lograr que TECHO, con sus pocos recursos, aporte en la trayectoria habitacional (Fig. 7). Conviene seguir trabajando, buscando nuevas iteraciones en el diseño y estrategias complementarias que lo apoyen, para poder apoyar a cada vez más hogares en su camino hacia la vivienda adecuada.

El déficit del patrimonio habitacional argentino – y Latinoamericano – es enorme y experiencias como esta, aunque mejorables, apuntan que para solucionarlo interesa aplicar lógicas de intervención desagregada y masiva. Proveyendo a cada caso lo que necesita con mayor urgencia y ayudándole en su camino, se puede lograr mejorar la precariedad habitacional de manera efectiva economizando los recursos empleados.

ditional resources – such as financing and technical assistance – this envelope is not substituted. In fact, some homes had not changed this envelope for more than 4 years.

Two possible lines of improvement have been identified. The first is to reorient resources, lowering the quality of the structural elements by reducing the section of supports and using cheaper materials, in favour of a better-quality envelope. Another is to adopt to the current reality and to ensure through preparatory work that Semilla houses reach those households that, without additional financing tools, are able to take advantage of their potential.

However, it cannot be denied that this new type of housing has allowed many families to build upon the contribution made by TECHO and continue their projects towards adequate housing. For the moment, most renovations of Semilla houses include small extensions, connections to pre-existing structures and upgrades to the envelope, but continuing to studying progress over time, and developing new tools in parallel that facilitate these processes where the conditions are more extreme, is worthwhile. Some cases already exist of Semilla houses being totally transformed, validating the idea that it is possible for TECHO, with its relatively few resources, to be part of a household's housing trajectory (Fig.7). It is important to continue working, developing new versions of the design and seeing out complementary strategies to support these, to be able to support more and more households on their way to finding adequate housing.

The housing deficit in Argentina – and throughout Latin American – is enormous and projects like this, while they can still be improved on, suggest that in order to find a solution, massive, incremental and disaggregated intervention is needed. By providing what is most urgently needed in each case and helping households on their way, it is possible to reduce housing precariousness in an effective way, using the limited available resources in the most efficient possible way.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Arébalo, Martha et al. , El Camino Posible: Producción Social Del Hábitat En América Latina, 2nd ed, ed. TRILCE, Montevideo, Uruguay, 2012.
- [2] Centro Latinoamericano de Demografía (CELADE), Población, Territorio y Desarrollo Sostenible, ed. CEPAL, Santiago, Chile, 2012.
- [3] Libertun de Duren, Nora et al., Vivienda ¿Qué viene?: De pensar la unidad a construir la ciudad, 1st ed., ed. BID Monografías, 2018.
- [4] Sugranyes, Ana, "HUMAN DIGNITY FROM AN URBAN AND TERRITORIAL PERSPECTIVE, REVISTA CIS 27(2019) 91–95.
- [5] Putero, Lorena, Vivienda, Deficit Habitacional y Politicas Sectoriales, 1st ed., ed. CIGES, Buenos Aires, Argentina, 2011.
- [6] Fernández Wagner, Raúl, Los Asentamientos Informales Como Cuestión: Revisión y Perspectivas., 1st ed., ed. Oculum Ensaíos 15(3): 399–411, 2018.
- [7] Mitchell, Ann, Evaluating the Effects of Housing Interventions on Multidimensional Poverty : The Case of TECHO-Argentina, Oxford Poverty & Human Development Initiative n° 120 (2018)
- [8] Demoy, Belen, Inés Olaciregui López, and Regina Ruete, Evaluación Cualitativa Del Impacto de La Vivienda de Emergencia Construida Por TECHO, 2017
- [9] Turner, John F.C, Chapter 7 - Housing as a verb, in: Freedom to build,ed. 1st, ed.THE MACMILLAN COMPANY, New York, 1972
- [10] Humanidad, Habitat para la, Construcción Progresiva Como Sistema, 1st ed., ed. HpH, Lima, Peru, 2019.
- [11] Pelli, Víctor Saúl, Análisis Metodológico de Estrategias Habitacionales de Saturación de Soluciones Básicas, Revista INVI 18 (2003) 113–35.
- [12] Turner, John F.C, Autoconstrucción: Por Una Autonomía Del Habitar, 1st ed., ed. Pepitas de Calabaza, Logroño, España, 2018.
- [13] Turner, John F C et Terner, Ian D., Industrialized Housing, 1st ed., Department of Housing an Urban Development, Office of International Affairs, Wshington D.C., USA, 1972
- [14] Mac Donnell, Horacio, and Horacio Patricio Mac Donnell, Manual de Construcción Industrializada, 1st ed., ed. REVISTA VIVIENDA SRL, Buenos Aires, Argentina, 1999.
- [15] The Sphere Project, Carta Humanitaria y normas mínimas para la respuesta humanitaria, 4th ed., ed. Asociación Esfera, Ginebra, Suiza, 2018.
- [16] ONU Habitat, El Derecho a Una Vivienda Adecuada. Folleto Informativo No21. 1st ed. ed. ONU. Ginebra, Suiza, 2010.
- [17] Di Virgilio, María Mercedes, Trayectorias Residenciales y Estrategias Habitacionales Entre Familias de Sectores Populares y Medios Residentes En El Área Metropolitana de Buenos Aires, Argentina, 1st ed., CONICET - Instituto de Investigaciones Gino Germani, Buenos Aires, Argentina, 2009.

Review of indicators for the definition of sustainable cities. Action criteria

Revisión de indicadores para la definición de ciudades sostenibles. Criterios de actuación

Vanessa Guillén-Mena^{1,2}, Koldobika Martín¹, Olatz Irulegi²

ABSTRACT

The expansion of urban built environments in cities continues to grow. Despite occupying about 2% of the earth's surface, they consume between 60% and 80% of the world's energy. It is estimated that, by 2030, approximately 60% of the population will live in urban areas and that, by 2050, this percentage will have increased to 70%. This situation presents us with greater challenges related to a high demand for resources and a significant environmental footprint, but also scenarios of opportunities for sustainable urban development. One of the ways to measure the generated impacts of urbanization and to evaluate the policies and strategies that each locality implements to achieve sustainability is through the application of a set of indicators. Although, these indicators have generally been addressed through frameworks at the national scale, very little is known from the urban scale. Some global frameworks have recently been developed that should be applied to the city scale, such as the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG-11, the New Urban Agenda (NAU), and the standard ISO 37120.

The definition of sustainable cities is not a simple process. Consequently, this research proposes a review of these global frameworks, the international standard and some case studies available in the scientific literature to identify their advantages and limitations, as well as the challenges of their application. The main objective is to determine a set of criteria, based on a comparison analysis between these resources, which can contribute to an appropriate definition of indicators at the city scale and support urban planning.

As a result, 10 criteria are obtained that address aspects related to the capacity of indicators to be disaggregated, spatial disaggregation, the assessment of policies and their outcomes, comparability, and standardization, among others. These criteria are expected to help guide the selection of indicators to overcome current challenges. In this way, the indicators can become more useful tools for improving people's quality of life and maintaining a balance with the environment.

Key Words: Indicators, sustainable urban development, urban planning, sustainable cities, quality of life.

(1)Department of Energy Engineering, Faculty of Engineering of Bilbao, University of the Basque Country UPV/EHU, Ingeniero Torres Quevedo Plaza, 1. Bilbao 48013, Spain

(2)Architecture Department, University of the Basque Country UPV/EHU, Plaza Oñati 2, San Sebastián 20018, Spain

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población en las áreas urbanas genera desafíos relacionados con la demanda acelerada de vivienda asequible, sistemas de transporte bien conectados, servicios básicos, empleo, entre otros [1]. Sin embargo, la urbanización también brinda escenarios de oportunidades para impulsar el desarrollo sostenible, pues a través de una buena gestión y planificación, se puede mejorar la calidad de vida y cerrar las brechas de la desigualdad [2]. Además, las ciudades son importantes para la lucha contra el cambio climático y ahora también, para la lucha contra las epidemias. En este último aspecto y en un contexto de pandemia (COVID 19) se ha puesto en evidencia la capacidad de las ciudades para funcionar en tiempos de crisis [1].

Una forma de abordar los problemas de la ciudad y potenciar sus aspectos positivos es mediante el desarrollo urbano sostenible. Este cuenta con varias teorías como la "ciudad saludable", la "ciudad compacta", la "ciudad inteligente", etc. Una de las que se ha mantenido y continúa en aumento su tendencia es la "ciudad sostenible" [3]. Aunque, entre estos conceptos existen aspectos superpuestos, todas son formas urbanas sostenibles con un aspecto en particular del desarrollo urbano en el cual se centran [4]. Por ejemplo, las ciudades sostenibles se enfocan más en la relación tripartita de los ámbitos social, económico y ambiental con una tendencia hacia este último aspecto [5]. Actualmente, el término tradicional "ciudad sostenible" está atrayendo la atención sobre otras nociones nuevas, como "ciudades bajas en carbono" y "ciudades inteligentes", sin embargo, es un concepto que perdurará por mucho más tiempo [4].

En la década de los 90s con la Agenda 21 local se empezó a monitorear la sostenibilidad urbana mediante el establecimiento de indicadores [5]. A partir de entonces, se ha generalizado este enfoque ya que permite tomar decisiones con mayor transparencia y responsabilidad desde la etapa de planificación, definición y formulación de políticas (diseño de iniciativas) hasta la implementación, monitoreo y su evaluación (evaluación de las iniciativas implementadas) [6]. Para ello, se requiere que los indicadores sean claros y utilicen datos rigurosos y objetivos. Posteriormente, el objetivo se centró en estructurar los indicadores y mejorar la estandarización [6]. Actualmente, esta estructuración se realiza bajo un sistema de metas y objetivos dentro del marco de la Agenda 2030 y la estandarización de indicadores se desarrolla en la norma ISO 37120 [7].

Con el monitoreo urbano, además de los marcos de aplicación universal, surgieron estándares de evaluación a diferentes escalas, especialmente en los países del Norte global [8]. Se inició con las herramientas de evaluación de las edificaciones sostenibles y posteriormente se ampliaron a nivel de vecindarios,

1. INTRODUCTION

Population growth in urban areas generates challenges related to the accelerated demand for affordable housing, well-connected transport systems, basic services, and employment, among others [1]. However, urbanization also provides opportunities to promote sustainable development, because quality of life can be improved and inequality gaps can be closed through good management and planning [2]. In addition, cities are important in the fight against climate change and also, now, in the fight against epidemics. In this last aspect and in the context of a pandemic (COVID 19), the question of the capacity of cities to function in times of crisis has become evident [1].

One way to address the problems of the city and enhance its positive aspects is through sustainable urban development. This has several theories, such as the "healthy city", the "compact city", the "intelligent city", etc. One of the theories that has maintained and continues to increase this trend is the "sustainable city" [3]. Although there are overlapping aspects among these concepts, they are all sustainable urban forms with a focus on a particular aspect of urban development [4]. For example, sustainable cities focus more on the tripartite relationship between the social, economic and environmental spheres, with a tendency towards the latter aspect [5]. Currently, the traditional term "sustainable city" is attracting attention over other newly notions, such as "low carbon cities" and "smart cities". It is, however, a concept that will endure for much longer [4].

In the 1990s, with Local Agenda 21, urban sustainability began to be monitored through the establishment of indicators [5]. Since then, this approach has become generalized as it allows decisions to be made with greater transparency and responsibility from the planning, definition and policy formulation stage (design of initiatives) to implementation, monitoring and evaluation (evaluation of implemented initiatives) [6]. This requires the indicators to be clear and the use of rigorous and objective data. Subsequently, the focus changed to structuring the indicators and improving standardization [6]. This structuring is currently carried out under a system of goals and objectives within the framework of the 2030 Agenda, and the standardization of indicators is developed in the ISO 37120 [7].

In addition to universally applicable frameworks, with urban monitoring, assessment standards have emerged at different scales, especially in the countries of the global North [8]. It started with sustainable building assessment tools and later extended to neighborhood, district and city levels [9]. Indexes and proposed sets of indicators to be applied in more specific contexts were also developed [10], [11]. Some even address specific topics as part of a cross-cutting evaluation [12]. A "set of indicators" is a

distritos y ciudades [9]. También se crearon índices y propuestas de conjuntos de indicadores para ser aplicados en contextos más concretos [10], [11]. Incluso algunos, abordan temáticas específicas como parte de una evaluación transversal [12]. Un “conjunto de indicadores” es un grupo de indicadores no agregados, que generalmente se organizan bajo un determinado marco, como los ODS o el marco de ONU-Hábitat, entre los más recientes [13].

Un marco de indicadores debe ser entendida como una estructura conceptual que, a través de sus argumentos facilita la selección, desarrollo e interpretación [13]. Sin embargo, los marcos teóricos generalmente han estado presentes para la definición de indicadores a nivel nacional, pero no a nivel urbano. Esto ha provocado que su selección se base en agrupaciones en función de cada pilar de la sostenibilidad sin un enfoque integrador, lo que resulta en un proceso ineficaz [14]. Es por ello, que la presente investigación aborda los desafíos que aún presenta la definición de indicadores a nivel urbano, mediante una revisión de las recientes metodologías globales de aplicación local, que buscan guiar a las ciudades hacia el desarrollo sostenibles.

2. OBJETIVO

El objetivo de esta investigación consiste en determinar un conjunto de criterios basados en una comparativa entre los marcos globales de aplicación a escala de ciudad como son los ODS (ODS-11), Nueva Agenda Urbana y Norma ISO 37120 y, un análisis de su aplicación en casos de estudio para determinar aspectos que puedan aportar en una adecuada definición de indicadores a escala de ciudad y apoyen en la planificación urbana.

El presente trabajo es parte de la tesis doctoral “Estudio del comportamiento energético y confort térmico de edificaciones residenciales desde una perspectiva urbana en ciudades andinas del Ecuador”. La finalidad de la investigación es el desarrollo de una metodología basada en indicadores para evaluar el parque residencial mediante un enfoque ascendente. La comprensión sobre qué criterios tener en cuenta basado en las limitaciones y desafíos de las experiencias recientes de la aplicación de los marcos globales en diferentes contextos, permitirán una selección más apropiada de indicadores para evaluaciones transversales en aspectos específicos.

Este documento se desarrolla en tres etapas: 1. revisión sobre los recientes marcos globales y normativa internacional que abordan el desarrollo urbano sostenible; 2. analizar casos de estudios basados en la aplicación de los marcos identificados; y 3. realizar una discusión de los criterios encontrados en las dos primeras etapas.

3. MARCOS GLOBALES Y NORMATIVA

group of non-aggregated indicators, usually organized under a certain framework, such as the SDGs or the UN-Habitat framework, among the most recent ones [13].

An indicator framework should be understood as a conceptual structure that, through its arguments, facilitates indicator selection, development and interpretation [13]. However, theoretical frameworks have generally been present for the definition of indicators at the national level, but not at the urban level. This has caused their selection to be based on groupings according to each sustainability pillar without an integrative approach, resulting in an inefficient process [14]. For this reason, the present research addresses the challenges that the definition of indicators still presents at the urban level, through a review of recent global methodologies of local application that seek to guide cities towards sustainable development.

2. OBJECTIVE

The objective of this research is to determine a set of criteria based on a comparison between the global frameworks of application at the city scale, such as the SDGs (SDG-11), New Urban Agenda and ISO 37120, and an analysis of their application in case studies to determine aspects that can contribute to an adequate definition of indicators at the city scale and support urban planning.

This work is part of the doctoral thesis “Study of energy behavior and thermal comfort of residential buildings from an urban perspective in Andean cities of Ecuador”. The purpose of the research is the development of a methodology based on indicators to evaluate the residential stock through a bottom-up approach. The understanding of what criteria to take into account based on the limitations and challenges of recent experiences of the application of global frameworks in different contexts will allow an appropriate selection of indicators for cross-cutting evaluations in specific aspects.

This document is developed in three stages: 1. review of recent global frameworks and the international standard that address sustainable urban development; 2. analyzing case studies based on the application of the identified frameworks; and 3. discussion of the criteria found in the first two stages is carried out.

3. GLOBAL FRAMEWORKS AND INTERNATIONAL STANDARD AT LOCAL SCALE

3.1. Sustainable Development Goals (SDG)

INTERNACIONAL DE ESCALA LOCAL

3.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En septiembre de 2015, en la Asamblea General de las Naciones Unidas, los Estados miembro adoptaron los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de alcance mundial. La denominada Agenda 2030, es un plan de acción para guiar las decisiones de los gobiernos y sociedades durante los próximos 15 años, a través del cumplimiento de 17 objetivos y 169 metas. Los ODS entraron en vigor en el año 2016 y deben implementarse considerando las diferentes escalas territoriales (nacional, regional y local), su nivel de desarrollo, capacidades, políticas y prioridades nacionales [15]. En el año 2017 se aprobó el marco de indicadores como un instrumento voluntario, que fija resultados cuantitativos de las tres dimensiones de la sostenibilidad mediante 231 indicadores [16]. Anualmente, estos indicadores serán perfeccionados. Su última actualización se realizó en marzo de 2021 [17].

Los indicadores deben desglosarse cuando sea pertinente y actualizarse periódicamente [15]. Para facilitar su implementación, se los clasifica en 3 niveles [18]. El nivel 1 significa disponibilidad de información y metodología con relación al nivel 3. La clasificación de los indicadores se actualiza anualmente y se puede acceder a través del siguiente link <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>. Aunque existe información de un gran número de indicadores a nivel global, esta base de datos es limitada a nivel de cada país y no se encuentra desagregada a escala local.

De los 17 ODS, el ODS-11 es exclusivo para las ciudades y consiste en "Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles". Uno de los mayores desafíos consiste en trasladar los objetivos nacionales de sostenibilidad al nivel urbano e implementar los ODS en las ciudades [19]. En la Tabla 1 se visualiza el ODS-11 conformado por 10 metas y 15 indicadores. Según la clasificación por niveles, 4 corresponden al

In September 2015, at the United Nations General Assembly, member states adopted the new global Sustainable Development Goals (SDGs). The so-called 2030 Agenda is an action plan to guide the decisions of governments and societies over the next 15 years, through the fulfillment of 17 goals and 169 targets. The SDGs came into force in 2016 and must be implemented considering the different territorial scales (national, regional and local), their level of development, capacities, policies and national priorities [15]. In 2017, the indicator framework was approved as a voluntary instrument, which sets quantitative results for the three dimensions of sustainability through 231 indicators [16]. These indicators will be refined annually. They were last updated in March 2021 [17].

Indicators should be disaggregated where relevant and updated periodically [15]. In order to facilitate their implementation, they are classified in 3 levels [18]. Level 1 means availability of information and methodology in relation to level 3. The classification of the indicators is updated annually and can be accessed through the following link <https://unstats.un.org/sdgs/indicators/database/>. Although there is information on a large number of indicators at the global level, this database is limited to the country level and is not disaggregated at the local level.

Of the 17 SDGs, SDG-11 is unique to cities and is to "Make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable". One of the biggest challenges is to translate national sustainability goals to the urban level and implement the SDGs in cities [19]. Table 1 shows that SDG-11 is made up of 10 targets and 15 indicators. According to the classification by levels, 4 correspond to Level I and 10 to Level II. This means that, although most of the indicators have an established methodology, countries do not generate data on a regular basis. On the other hand, in a context of a COVID 19 pandemic, the United Nations Statistical Commission has identified a group of indicators that could reflect the impacts generated by the pandemic. Of SDG-11, 5 indicators are deemed

Table 1.
Targets and relevant aspects of SDG-11.

SDG-11	Targets	Number of indicators	Tier classification	Relevant COVID 19	
Sustainable cities and communities	11.1 Affordable housing and basic services	1	Tier I	X	
	11.2 Sustainable transportation systems	1	Tier II		
	11.3 Planning and management of human settlements	2	Tier II		
	11.4 Cultural and natural heritage	1	Tier II		
	11.5 Disasters (economic and human losses)	2	Tier I (11.5.1) Tier II (11.5.2)	X	
	11.6 Reduction of negative environmental impact	2	Tier II (11.6.1) Tier I (11.6.2)	X	
	11.7 Green areas and public spaces	2	Tier II	X (11.7.1)	
	11.a National and regional development planning (links between urban, peri-urban and rural areas)	1	Tier I		
	11.b Disaster risk reduction	2	Tier II	X (11.b.2)	
	11.c Technical and financial assistance to least developed countries	Not defined	Not defined	No	
	Total		10	15	

Nivel I y 10 al Nivel II. Esto significa que, aunque la mayoría de indicadores cuentan con una metodología establecida, no son datos que los países la generen de manera regular. Por otro lado, en un contexto de pandemia de COVID 19, la Comisión de Estadística de Naciones Unidas ha identificado a un grupo de indicadores que podría reflejar los impactos generados por la pandemia. Del ODS-11, 5 indicadores son relevantes para que las autoridades puedan centrar allí sus esfuerzos de monitoreo [20]. Adicionalmente, pueden surgir nuevos indicadores que reflejen de mejor manera el impacto de la pandemia en las ciudades.

3.2. La Nueva Agenda Urbana (NAU)

La Nueva Agenda Urbana (NAU) se aprobó en la conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) en Ecuador, en el año 2016. Su objetivo es complementar e integrar esfuerzos para mejorar la salud y el bien-

relevant so authorities can focus their monitoring efforts on them [20]. In addition, new indicators may emerge to better reflect the impact of the pandemic in cities.

3.2. The New Urban Agenda (NUA)

The New Urban Agenda (NUA) was adopted at the United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat III) in Ecuador in 2016. It aims to complement and integrate efforts to improve human health and well-being, foster resilience, and protect the environment, through the establishment of norms and principles for the planning, construction, management, and improvement of urban areas [21]. It is based on five categories and 35 key elements (Table 2), which are directly or indirectly supported by some of the SDG indicators and the United Nations global monitoring framework called "City Prosperity Index". Therefore, the NUA and the 2030 Agenda must be coordinated for consis-

CATEGORIES									
1. National urban policies		2. Urban legislation, rules and regulations		3. Urban planning and design		4. Urban economy and municipal finance		5. Local implementation	
#	Key items	RI	R	R	R	R	R	RI	RI
1	Demographic projections	1	7	7	2	2	1	4	4*
				Urban land vis-à-vis non-urban land	Planning and design based in evidence	Role of local government	2*	Urban growth	
2	Urbanized land	2	4	4	4	3*	3*	5	5
			1*	Urban plan and distinguish public space from buildable urban land	Urban, agricultural and protected areas	Local financial and economic framework		Urban regeneration of derelict areas	
3	Roles of all levels of government	1	4	4	1	1	4*	5	3*
				Public space	Connectivity of the urban space including the structuring layout	Equitable and progressive tax policy		Urban infill and control of land price speculation	
4	Align national and sectoral urban policies	1	2	2	9	2	2	6	10*
				Buildability rights	Sustainable density and mixed use	Inclusive local economic development		Urban service frameworks	
5	Urban and territorial disparities	4	3	3	4	1	2*	3*	3*
		1*		Decentralization	Urban design	Access to quality basic services		Public benefit from public investment	
6	Jurisdictional coordination and coherence	1	4	4	4	2	2*	4	4*
		1		Land and property value	Natural resources and cultural heritage	Financing and affordable housing options		Community-led groups	
7			2	2	3				
			2*	Housing and economic regulations	Housing				
8			8	8	2				
				Universal access to basic services	Adequate amounts of urban space				
9			1	1					
				Design systems of					

Table 2.

Categories e indicators of the New Urban Agenda (NUA).

RI = Number of relevant indicators

* Indicators of the "City Prosperity Index", the others correspond to the SDGs.

tar humano, fomentar la resiliencia y proteger el medio ambiente, a través del establecimiento de normas y principios para la planificación, construcción, gestión y mejora de las zonas urbanas [21]. Se basa en cinco categorías y 35 temas centrales (Tabla 2), que se apoyan directa o indirectamente en algunos de los indicadores de los ODS y en el marco de monitoreo global de las Naciones Unidas llamado "Índice de prosperidad de la ciudad". Por tanto, la NAU y la Agenda 2030 deben estar coordinadas para que exista coherencia en su aplicación. Estos temas centrales del marco de acción propuesto por ONU-Hábitat, pretenden hacer de "ganchos" para abordar otros temas especializados y sectoriales [22]. Esto dependerá de las diferentes realidades, capacidades y niveles de desarrollo nacionales, y de la legislación, prácticas, políticas y prioridades de cada localidad.

La NAU es de alcance universal y establece prioridades a nivel mundial, regional, nacional, subnacional y local, para promover el desarrollo urbano sostenible. Mediante su aplicación pretende contribuir a la consecución de los ODS, especialmente, pero no exclusivamente el ODS-11 [23]. La Asamblea General solicitará informes cada cuatro años sobre los progresos de la implementación. Las aportaciones serán voluntarias por parte de los países y organizaciones regionales e internacionales [21].

3.3. Norma Internacional ISO 37120

Como respuesta a la falta de una metodología para estandarizar indicadores, surge la norma ISO 37120:2014 [11]. Esta norma es reemplazada por la ISO 37120:2018 – Ciudades y Comunidades Sostenibles. Indicadores para los servicios urbanos y la calidad de vida [7]. Su objetivo consiste en definir metodologías para un conjunto de indicadores que permita guiar y medir el desempeño de los servicios urbanos y la calidad de vida, así como hacer un seguimiento y monitorización de sus avances mediante un enfoque estandarizado. Es decir, facilita la comparación entre ciudades. Para que la comparación sea entre pares, este documento recomienda unos indicadores de perfil para proporcionar referencia informativa.

cy in their implementation. These key elements of this framework action proposed by UN-Habitat are intended to serve as "hooks" to address other specialized and sectoral issues [22]. This will depend on the different national realities, capacities and levels of development and on the legislation, practices, policies and priorities of each locality.

The NAU is universal in scope and establishes priorities at the global, regional, national, subnational and local levels to promote sustainable urban development. Through its implementation it aims to contribute to the achievement of the SDGs, especially but not exclusively SDG-11 [23]. The General Assembly shall request reports every four years on the progress of the implementation. Contributions will be voluntary from countries and regional and international organizations [21].

3.3. International Standard ISO 37120

In response to the lack of a methodology to standardize indicators, the ISO 37120:2014 emerged [11]. This standard has been replaced by ISO 37120:2018 – Sustainable cities and communities. Indicators for city services and the quality of life [7]. Its objective is to define methodologies for a set of indicators to guide and measure the performance of urban services and quality of life, and to follow-up and monitor their progress through a standardized approach. In other words, it facilitates comparison between cities. For peer-to-peer comparisons, this document recommends some profile indicators to provide informative benchmarks.

ISO 37120:2018 presents 19 themes composed of 45 core indicators (required), 59 supporting indicators (recommended) and 7 profile indicators, shown in Table 3. These indicators are applicable to any city or local government.

4. CASE STUDIES ON THE IMPLEMENTATION OF GLOBAL INDICATOR FRAMEWORKS

The selection of case studies was made under the following criteria: city-scale research addressing the

Table 3.
Themes and indicators of the International Standard ISO 37120:2018.
CI = Core Indicator,
SI = Supporting Indicator,
PI = Profile Indicator.

Themes	CI	SI	PI	Themes	CI	SI	PI
1. Economy	1	7	1	11. Safety	5	5	0
2. Education	4	2	0	12. Solid waste	5	5	0
3. Energy	5	2	1	13. Sport and culture	1	2	0
4. Environment and climate change	3	6	0	14. Telecommunication	0	2	0
5. Finance	2	2	1	15. Transportation	2	5	1
6. Governance	1	3	0	16. Urban/local agriculture and food security	1	3	0
7. Health	4	2	0	17. Urban planning	1	3	1
8. Housing	2	2	1	18. Wastewater	3	1	0
9. Population and social conditions	1	2	1	19. Water	4	3	0
10. Recreation	0	2	0				

La norma ISO 37120:2018 presenta 19 temáticas compuestas por 45 indicadores centrales (necesarios), 59 indicadores de apoyo (recomendados) y 7 indicadores de perfil, que se muestran en la Tabla 3. Estos indicadores son aplicables para cualquier ciudad o gobierno local.

4. CASOS DE ESTUDIO SOBRE LA APLICACIÓN DE LOS MARCOS DE INDICADORES GLOBALES

La selección de casos de estudio se realizó bajo los siguientes criterios: Investigaciones a escala de ciudad que aborden los marcos revisados, publicaciones posteriores al año 2016 y diversidad de contextos (Tabla 4). El propósito de esta etapa consiste en identificar los objetivos y limitaciones de 6 estudios actuales que aplican los marcos de indicadores globales, para comprender las dificultades encontradas de su aplicación en la escala de ciudad. De este análisis

reviewed frameworks, publications after 2016 and diversity of contexts (Table 4). The purpose of this step is to identify the objectives and limitations of 6 current studies applying the global indicator frameworks in order to understand the difficulties encountered in their application at the city scale. The criteria for the definition of indicators are obtained from this analysis and discussed in section 5.

5. DISCUSSION

From the review of the global indicator frameworks and their comparative analysis, 6 relevant criteria are identified for the definition of indicators that are discussed in section 5.1. In addition, from the experiences of their application in the case studies analyzed reveal 4 additional criteria to take into account, which are discussed in section 5.2.

5.1. Criteria from the comparative analysis

Table 4. Limitations of the application of global frameworks in different cities.

N.	Studies	City	Framework	Objective	Limitations	Reference
1	How to contextualize SDG 11? Looking at indicators for sustainable urban development in Germany	German cities	SDG	Contextualize indicators	- There is no consensus to contextualize global indicators in local realities. - Limited data - Lack of thresholds	[19]
2	Developing and testing the Urban Sustainable Development Goal's targets and indicators – a five-city study	Cities of different continents	SDG	Assessing data availability, the relevance of the indicators and the feasibility of their measurement	- Limited data - Universality difficult to achieve - Political preferences	[24]
3	Adapting the SDG and the NUA to the city level: Initial reflections from a comparative research project	Cities of different continents	SDG NUA	Reflect on what to consider for the process of implementing global agendas	- Adaptation process of global agendas at the local level - Lack of clarity in objectives and measurability - Limited data	[25]
4	Measuring urban energy sustainability and its application to two Spanish cities: Malaga and Barcelona	Spanish cities	SDG ISO 37120 NUA	Create a global index to measure energy sustainability in cities	Applicability depends on the availability of quality data	[12]
5	Standardising the city as an object of comparison: The promise, limits and perceived benefits of ISO 37120	Cities: Melbourne and Toronto	ISO 37120	Evaluate the experiences of ISO 37120 implementation in cities	- Standardization city	[26]
6	The SDGs in middle-income countries: Setting or serving domestic development agendas? Evidence from Ecuador	Ecuadorian city and national context	SDG	Explore the domestic interpretation of a global framework between different levels of government	Implementation of the SDGs subject to political interpretation and interests	[27]

sis se obtiene criterios para la definición de indicadores que se discute en el apartado 5.

5. DISCUSIÓN

De la revisión de los marcos de indicadores globales y un análisis comparativo, se identifican 6 criterios relevantes para la definición de indicadores que se discuten en la sección 5.1. Adicionalmente, de las experiencias sobre su aplicación en los casos de estudio analizados, se visibiliza 4 criterios adicionales para tener en cuenta, que se discuten en la sección 5.2.

5.1. Criterios desde el análisis comparativo entre marcos globales y norma internacional

La Tabla 5 hace una comparativa de los tres marcos de indicadores globales recientes a nivel internacional y de aplicación a escala de ciudad, identificando 6 criterios que buscan mostrar sus ventajas y limitaciones.

Con relación al primer criterio sobre información desglosada es importante la capacidad del indicador para entregar datos por género, raza, etnia, situación migratoria, edad, etc., debido a que es una de las maneras de identificar inequidades dentro de la ciudad. La ventaja de los ODS y la NAU es que cuentan con indicadores que cumplen con este criterio, frente a la Norma ISO 37120 que tiene un enfoque de presentar un único valor.

El segundo criterio sobre desagregación espacial permite identificar las desigualdades de manera más eficaz y comprender la situación de las personas marginadas y vulnerables. A su vez, incide en la aplicación de políticas e intervenciones más adecuadas, al visualizar quienes están siendo atendidos y quienes requieren de mayor atención [23]. Los ODS y la NAU presentan indicadores con un gran potencial para ser desagregados. En el último informe del Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los ODS, determinaron que 99 de los 231 indicadores pueden desagregarse por su ubicación geográfica, permitiendo una visualización geoespacial [17]. Varios estudios a escala de ciudad han empezado a evaluar los indicadores de esta manera, ya que permite una mejor toma de decisiones [23], [28]. No contar con información desagregada espacialmente es un limitante, por ejemplo, conocer únicamente el porcentaje de hogares con acceso al espacio público, no permite determinar si está rela-

between global frameworks and the international standard

Table 5 compares the three recent global indicator frameworks at the international level and their application at the city scale, identifying 6 criteria that seek to show their advantages and limitations.

In relation to the first criterion on data disaggregation, the capacity of the indicator to provide information by gender, race, ethnicity, migratory status, age, etc. is important, since it is one of the ways to identify inequalities within the city. The advantage of the ODS and the NAU is that they have indicators that meet this criterion, as compared to ISO 37120, which has a focus on presenting a single value.

The second criterion on spatial disaggregation makes it possible to identify inequalities more effectively and to understand the situation of marginalized and vulnerable people. It influences the application of more appropriate policies and interventions by visualizing who is being served and who requires more attention [23]. The SDGs and the NAU present indicators with great potential for disaggregation. In the latest report of the Inter-Agency and Expert Group on SDG Indicators, they determined that 99 of the 231 indicators can be disaggregated by geographic location, allowing a geospatial visualization [17]. Several city-scale studies have begun to evaluate indicators in this way, as it allows for better decision-making [23], [28]. Not having spatially disaggregated information is a limitation, for example, knowing only the percentage of households with access to public space does not allow any determination of whether it is related to housing located in areas with better socioeconomic conditions [23]. Spatial disaggregation can also be used to evaluate the implementation of urban policies. Therefore, it would be important for local governments to implement Geographic Information Systems (GIS) and the capacity for their operation [24].

The third comparative criterion is the policies assessment. It consists of analyzing whether the indicators measure the existence of legal or technical frameworks that guide urbanization. These can influence the achievement of the targets set by a locality. In addition, their inclusion is another way of assessing sustainability in a simpler way, especially in countries that have limited access to information [23]. The NUA has several such indicators. The SDGs include a few indicators that assess policies, while ISO 37120 does not directly assess regulatory or te-

Table 5. Limitations of the application of global frameworks in different cities.

N.	Criteria	SDG	NUA	ISO 37120
1	Data disaggregation	X	X	
2	Spatial disaggregation	X	X	
3	Policies assessment		X	
4	Outcomes assessment	X		X
5	Comparability between cities			X
6	Standardization of indicators			X

cionado con las viviendas ubicadas en áreas de mejores condiciones socioeconómicas [23]. Además, la desagregación espacial, también puede ser utilizada para evaluar la implementación de políticas urbanas [23]. Para ello, sería importante que los gobiernos locales implementen Sistemas de Información Geográfico (SIG) y capacidad para su operación [24].

El tercer criterio comparativo es la evaluación de políticas iniciales. Consiste en analizar si los indicadores miden la existencia de marcos legales o técnicos que guíen la urbanización. Estos pueden influir en que se logre las metas planteadas por una localidad. Además, su inclusión es otra forma de evaluar la sostenibilidad de manera más sencilla, sobre todo en países que tienen limitado acceso a la información [23]. La NAU cuenta con varios indicadores de este tipo. Los ODS incluyen contados indicadores que evalúan las políticas iniciales, mientras que, la ISO 37120 no evalúa directamente marcos regulatorios o técnicos. Es decir, estos dos últimos marcos se centran principalmente en el cuarto criterio que corresponde a la evaluación de resultados. Por ejemplo, en los ODS existen indicadores que evalúan la calidad del aire, pero carecen de indicadores que midan la existencia de límites normados. Por el contrario, la NAU evalúa intervenciones de diseño urbano y planificación, pero omiten los resultados posteriores [23]. Contar con los dos tipos de indicadores permitiría comparar y monitorear cambios a lo largo del tiempo.

En relación al quinto criterio, la comparabilidad entre ciudades tiene por objetivo compartir experiencias y las mejores prácticas sobre desafíos similares, aprender de ellos y promover la transferencia de conocimiento [19]. La comparabilidad corresponde a un aspecto particular de la ISO 37120. La ventaja consiste en que esta norma establece un perfil de indicadores que ayuda a determinar qué ciudades son de interés para las comparaciones. Se ha identificado que al comparar ciudades con diferentes características, se corre el riesgo de eliminar indicadores relevantes para una de las localidades [29]. Aun así, la comparación entre ciudades sigue siendo compleja. En el estudio de [26] se evidencia que dos ciudades con suficientes similitudes para justificar su comparación como Melbourne y Toronto, existen situaciones en las que sus datos no son comparables. Por ejemplo, en uno de los indicadores de transporte que mide el "número anual de viajes en transporte público per cápita", los viajes considerados son los que se realizan dentro de la ciudad, sin embargo, en Melbourne la mayor parte de la población que llega a la ciudad son trabajadores, visitantes, estudiantes, etc., que superan el total de residentes. Esto genera que su medición sea mayor. Otro ejemplo en dos indicadores de Educación que miden la "tasa de finalización de los estudiantes de primaria y secundaria", el problema radica en que no necesariamente los estudiantes que asisten a las escuelas privadas y ciertas escuelas públicas están obligados a vivir en la misma jurisdicción en la que se encuentra su escuela.

technical frameworks. In other words, the latter two frameworks focus mainly on the fourth criterion, which corresponds to the outcomes assessment. For example, there are indicators in the SDGs that assess air quality, but they lack indicators that measure the existence of standard limits. In contrast, the NUA evaluates urban design and planning interventions, but omits subsequent outcomes [23]. Having both types of indicators would allow for the comparison and monitoring of changes over time.

In relation to the fifth criterion, comparability between cities aims to share experiences and best practices on similar challenges, to learn from them and promote knowledge transfer [19]. Comparability corresponds to a particular aspect of ISO 37120. The advantage is that this standard establishes a profile of indicators that helps to determine which cities are of interest for comparisons. It has been identified that when comparing cities with different characteristics, there is a risk of eliminating relevant indicators for one of the localities [29]. Even so, the comparison between cities remains complex. In the study of [26], it is evident that even for two cities with enough similarities to justify their comparison, such as Melbourne and Toronto, there are situations in which their data are not comparable. For example, in one of the transportation indicators that measures the "annual number of public transport trips per capita", the trips considered are those made within the city. However, in Melbourne, most of the population arriving in the city are workers, visitors, students, etc., which exceeds the total number of residents. This generates a higher measurement. Another example in two education indicators that measure the "percentage of students completing primary and secondary education: survival rate", the problem lies in the fact that students attending private schools and certain public schools are not necessarily required to live in the same jurisdiction in which their school is located.

Finally, the sixth criterion on the standardization of indicators, which refers to the process of systematizing all the elements involved, from the collection to the interpretation of information. ISO 37120 sets out methodologies to provide a uniform approach to what is measured and how it is measured [11]. This facilitates not only the evaluation and comparison between cities in different countries, but also between localities in the same country and over time. It has also been shown that, at the local level, an indicator is often measured differently than at the national or regional level. This is the case of the city of Gothenburg and the different levels of government in Sweden, target 11.2, which consists of the proportion of safe transport systems; while some focus on the distance traveled, others focus on the number of trips made. In addition, the lack of standardization can also lead to different interpretations, sometimes due to unclear definitions of certain terms such as cultural and natural heritage (target 11.4) [24]. Ano-

Finalmente, el sexto criterio sobre la estandarización de indicadores hace referencia al proceso de sistematización de todos los elementos involucrados desde la recogida hasta la interpretación de información. La Norma ISO 37120 plantea metodologías para proporcionar un enfoque uniforme, respecto a lo que se mide y cómo se mide [11]. Esto facilita no solo la evaluación y comparación entre ciudades de diferentes países, sino que también, entre localidades de un mismo país y a lo largo del tiempo. También se ha evidenciado que, a nivel local, un indicador suele ser medido de manera diferente que a nivel nacional o regional. Es el caso de la ciudad de Gotemburgo y los diferentes niveles de gobierno en Suecia, la meta 11.2 que consiste en la proporción de sistemas de transporte seguro, mientras unos se centran en la distancia recorrida, otros se enfocan en el número de viajes realizados. Adicionalmente, la falta de estandarización también puede dar paso a diferentes interpretaciones, en ocasiones por definiciones poco claras en determinados términos como patrimonio cultural y natural (meta 11.4) [24]. Otra ventaja de la estandarización de indicadores es que permite fortalecer prácticas de obtención de datos dentro de los gobiernos municipales, a la vez que promueve que el conocimiento y experiencias sean compartidas. Si bien, la estandarización intenta simplificar las complejidades de la ciudad y pueden ser útiles, faltan estudios que visibilicen cómo estos estándares están construyendo ciudad [26].

5.2. Criterios desde el análisis de casos de estudio

5.2.1. Umbrales

Otra de las dificultades posterior a la definición de indicadores es la medición [25]. Esto se debe a la falta de umbrales claros para ciudades individuales o para todo un conjunto de ciudades. La definición de umbrales permite medir el progreso de las ciudades hacia el desarrollo sostenible y el éxito de la implementación de un determinado marco de indicadores a lo largo del tiempo. Los umbrales específicos para las ciudades permiten un enfoque más sensible con el contexto, mientras que, umbrales centralizados podrían permitir una acción más coordinada para la implementación de indicadores, como el de los ODS [19]. Ninguno de los marcos globales analizados en esta investigación plantea un umbral o valor numérico a sus indicadores. Algunas experiencias han mostrado que la falta de umbrales no establecidos a nivel nacional provoca que los gobiernos locales presenten diferentes niveles de ambición. Por ejemplo, un estudio en Australia identificó que, aunque todas las ciudades cuentan con metas políticas de acceso al transporte público, el umbral varía en cada una de ellas. Es el caso de Sídney y Perth que para medir la proporción de población que tiene acceso al transporte público, utilizan la distancia a las estaciones como medida, sin embargo, los valores establecidos para cada ciudad varían. Adicionalmente, mientras

ther advantage of the standardization of indicators is that it strengthens data collection practices within municipal governments, while promoting the sharing of knowledge and experiences. Although standardization attempts to simplify the complexities of the city and can be useful, there is a lack of studies that make how these standards are building the city visible [26].

5.2. Criteria from the analysis of case studies

5.2.1 Thresholds

Another difficulty following the definition of indicators is measurement [25]. This is due to the lack of clear thresholds for individual cities or for a whole set of cities. The definition of thresholds makes it possible to measure the progress of cities towards sustainable development and the success of the implementation of a given framework of indicators over time. City-specific thresholds allow for a more context-sensitive approach, while centralized thresholds could allow for more coordinated action for the implementation of indicators, such as the SDGs [19]. None of the global frameworks analyzed in this research propose a threshold or numerical value for their indicators. Some experiences have shown that the lack of thresholds, not established at the national scale, causes local governments to present different levels of ambition. For example, a study in Australia identified that while all cities have public transport access policy targets, the threshold varies in each city. This is the case of Sydney and Perth, which use distance to stations as a measure of the proportion of the population that has access to public transport; however, the values established for each city vary. In addition, while the first city indicates that 100% of the dwellings must meet the defined threshold, the second city states that only 60% of the dwellings must meet the threshold [23].

5.2.2. Contextualization of Indicators

This consists of identifying the level of importance of the indicators in a specific locality, so they must be related to local priorities [19]. The literature identifies two aspects that influence the determination of priorities: the level of development of the locality and the characteristics of the city. In the first case, developing countries, such as those in Latin America, have cities whose basic needs, infrastructure and primary services, among others, have not yet been met. Therefore, they need to focus their efforts on achieving a minimum level of development. As another example, localities in Africa and Asia have limited access to energy and will therefore give less importance to issues related to climate change, even though it is a major global concern [30]. In relation to the second case, some cities are coastal and therefore should give greater importance to indicators related to underwater life [19]. Moreover, there is no

la primera ciudad indica que el 100% de las viviendas deben cumplir con el umbral definido, la segunda ciudad plantea que solo el 60% de las viviendas deben hacerlo [23].

5.2.2. Contextualización de indicadores

Consiste en identificar el nivel de importancia que tienen los indicadores en una localidad específica, por tanto, deben estar relacionadas con las prioridades locales [19]. En la literatura se identifican dos aspectos que inciden en la determinación de prioridades, estas son: el nivel de desarrollo de la localidad y las características propias de la ciudad. En relación con el primer caso, los países en desarrollo como los de América Latina, presentan ciudades que aún no tienen cubiertas sus necesidades básicas, ni de infraestructura o dotación de servicios primarios, entre otros. Por tanto, requieren enfocar sus esfuerzos en alcanzar un mínimo nivel de desarrollo. Otro ejemplo, son las localidades de África y Asia que presentan un limitado acceso a la energía, por tanto, darán menos importancia a temas relacionados con el cambio climático, a pesar de que es una de las principales preocupaciones a nivel global [30]. En relación al segundo caso, algunas ciudades son costeras y por tanto, deberán dar mayor importancia a indicadores relacionados con la vida submarina [19]. Además, no existe un consenso sobre como contextualizar indicadores globales en contextos locales. Por tanto, en el estudio de [19], se evidencia tres propuestas para contextualizar los ODS, especialmente el ODS-11 en ciudades alemanas. La primera iniciativa, empleó procesos participativos entre actores de los gobiernos a diferentes escalas y grupos de la sociedad civil. La segunda iniciativa basó su contextualización en 5 criterios: 1. relevancia, 2. validez, 3. disponibilidad de datos, 4. calidad de los datos y función y 5. contribución de los municipios. Y la tercera iniciativa se basa en la opinión de expertos, sociedad civil, literatura científica y agendas políticas internacionales. Como resultado, el estudio evidencia que son pocos los indicadores del ODS-11 relevantes para las ciudades del contexto alemán, por lo que coincidieron en el desarrollo de nuevos indicadores. Esta reducción significativa muestra que no todos los indicadores son útiles de la misma manera en ciudades con diferentes contextos. Esto puede representar una limitación para la comparación internacional sobre el progreso [24] y generar cuestionamientos sobre la estandarización de la ciudad [26].

5.2.3. Implementación, seguimiento y monitoreo

Son complejos los desafíos que se relacionan con la implementación, seguimiento y monitoreo de indicadores. Las experiencias de los estudios revisados han evidenciado que en ocasiones esto depende de las preferencias políticas de las autoridades o de los desafíos que deben enfrentar según el contexto en el que se encuentren [24], [25]. Esto incide, para que

consensus on how to contextualize global indicators in local contexts. Therefore, in the study of [19], three proposals for contextualizing the SDGs, especially SDG-11 in German cities, are evident. The first initiative employed participatory processes between government actors at different scales and civil society groups. The second initiative based its contextualization on 5 criteria: 1. relevance, 2. validity, 3. data availability, 4. data quality and function, and 5. contribution of municipalities. The third initiative is based on the opinion of experts, civil society, scientific literature and international political agendas. As a result, the study shows that few SDG-11 indicators are relevant for cities in the German context, so they agreed on the development of new indicators. This significant reduction shows that not all indicators are useful in the same way in cities with different contexts. This may represent a limitation for the international comparison of progress [24] and raise questions about the standardization of the city [26].

5.2.3. Implementation, follow-up and monitoring

The challenges related to the implementation, follow-up and monitoring of indicators are complex. The experiences of the studies reviewed have shown that this sometimes depends on the political preferences of the authorities or on the challenges they must face, depending on the context in which they find themselves [24], [25]. This means that the interpretation of the "priority" objectives defined at the national level varies at the city level. Therefore, it cannot be expected that the indicator frameworks will be applied as if they were a template that governments will simply adopt [27]. It is very likely that there will be conflicts of interest between authorities at different levels of government. Even managing information at different scales may be difficult to coordinate [24]. A study on the implementation of the SDGs in Ecuador at the city level (Quito) and at the national level shows the different interpretations of each level of government on the goals defined as priorities [27]. The research suggests that the differences are driven, because they do not share the same political line and by pressures from different sectors (indigenous communities, private sector, civil society, etc.). Thus, for example, in target 10.2, the national government prioritizes people with disabilities, while the local government considers inequalities based on ethnicity. To address this challenge of both the SDGs and the NAU, the research of [25] raises 5 aspects that should be considered, among them "integrated governance", which consists of horizontal and vertical collaboration between different actors. To achieve this aspect, they suggest some characteristics that could contribute to effective coordination. One of them refers to the need for concrete national guidance or support. Finally, interconnections in the implementation of global agendas should be considered, as they can highlight possible conflicts, trade-offs and synergies between

la interpretación sobre los objetivos "prioritarios" definidos a escala nacional varían a nivel de ciudad. Es por ello que, no puede esperarse que los marcos de indicadores se apliquen como si fueran una plantilla que los gobiernos simplemente la adoptarán [27]. Es muy probable que existan conflictos de interés entre las autoridades de los diferentes niveles de gobierno. Incluso manejar la información a diferentes escalas resulta difícil de coordinar [24]. Un estudio sobre la implementación de los ODS en Ecuador a escala de ciudad (Quito) y a nivel nacional, evidencia las diferentes interpretaciones de cada nivel de gobierno, sobre los objetivos definidos como prioritarios [27]. La investigación plantea que las diferencias están impulsadas, porque no comparten la misma línea política y por presiones de diferentes sectores (comunidades indígenas, sector privado, sociedad civil, etc.). Por ejemplo, en la meta 10.2 el gobierno nacional prioriza a las personas con discapacidad, mientras que el gobierno local considera las desigualdades basadas en la etnia. Para abordar este desafío tanto de los ODS como la NAU, la investigación de [25] plantea 5 aspectos que deberían ser considerados, entre ellos "gobernanza integrada", que consiste en la colaboración horizontal y vertical entre diferentes actores. Para alcanzar este aspecto sugieren algunas características que podrían contribuir a una coordinación eficaz. Uno de ellos, hace referencia a la necesidad de una orientación o apoyo nacional concretos. Finalmente, se debe considerar las interconexiones en la implementación de agendas globales, ya que pueden resaltar posibles conflictos, compensaciones y sinergias entre programas y políticas locales [25].

5.2.4. Aplicabilidad

Un gran desafío para la aplicación de marcos de indicadores en las ciudades está relacionado con la falta de disponibilidad de información de calidad y desglosada. La evaluación de la sostenibilidad a nivel de ciudad requiere información más detallada que la requerida a nivel nacional o global [24]. La falta de información genera incertidumbres y demanda de mayores esfuerzos en recopilar datos que no existen. Esta información menudo son difíciles de obtener especialmente por la falta de fondos [14]. Las encuestas aplicadas a escala nacional son limitadas en el nivel de detalle de la información y en la frecuencia de la recolección de datos. Esta problemática se acentúa aún más en los países del sur global [29]. Como alternativa a esta problemática, en la investigación de [12] aborda opciones de cómo aprovechar la limitada información existente. También en [25] sugiere que los municipios aprovechen sus mecanismos de control existentes, y complementarlos con indicadores de los marcos globales, ya que los datos son requeridos para monitorear y evaluar el progreso de las ciudades.

6. CONCLUSIONES

local programs and policies [25].

5.2.4. Applicability

A major challenge for the application of indicator frameworks in cities is related to the lack of availability of quality and disaggregated information. Sustainability assessment at the city level requires more detailed information than at the national or global level [24]. Limited access to information generates uncertainties and demands greater efforts to collect data that do not exist. This information is often difficult to obtain due to a lack of funds [14]. Surveys applied at the national scale are limited in the level of detail of the information and in the frequency of data collection. This problem is even more pronounced in the countries of the global South [29]. As an alternative to this problem, the research of [12] addresses options on how to take advantage of the limited existing information. Also in [25] it suggests that municipalities take advantage of their existing control mechanisms, and complement them with indicators from global frameworks, since data is required to monitor and evaluate the progress of cities.

6. CONCLUSION

The definition of indicators at the local scale to achieve sustainability in cities continues to be a challenge. The contribution of the present research consisted in identifying a set of criteria to support an appropriate selection of indicators, based on a comparison of recent global indicator frameworks and the analysis of the advantages and limitations of their application in city-scale case studies of the last 5 years. The research determined a total of 10 criteria that should be taken into account when defining indicators: 1. Consider disaggregated data, 2. Prefer a greater number of indicators with spatial disaggregation capacity, 3. Have indicators that assess policies, 4. Have indicators that assess outcomes, 5. Allow comparability between cities, 6. Consider the standardization of indicators, 7. Define thresholds, 8. Contextualize indicators in each locality, 9. Improve implementation, follow-up and monitoring, and 10. Take into account its applicability.

Each of these criteria were discussed in the document, highlighting their advantages and limitations. The first and second criteria contribute to decision-making, and the second in particular, is fundamental for urban planning. The third criterion generates a greater guarantee of compliance with the objectives established by the locality. The fourth and seventh criteria measure progress towards sustainable development. The fifth and sixth criteria facilitate comparison between cities, especially those with similar challenges. This allows learning from other experiences to take place; however, it limits the eighth criterion on the contextualization of indicators. The greatest challenges are related to the last two criteria. The ninth because it depends on the

La definición de indicadores a escala local para alcanzar la sostenibilidad en las ciudades sigue siendo un reto. El aporte de la presente investigación consistió en identificar un conjunto de criterios que apoyen a una selección apropiada de indicadores, basada en una comparativa de los recientes marcos de indicadores globales y en el análisis de ventajas y limitaciones que conlleva su aplicación en estudios de caso a escala de ciudad de los últimos 5 años. La investigación determinó un total de 10 criterios que deben tomarse en cuenta al momento de definir indicadores: 1. Considerar que la información se pueda desglosar, 2. Preferir un mayor número de indicadores con capacidad de desagregación espacial, 3. Contar con indicadores que evalúen las políticas iniciales, 4. Contar con indicadores que evalúen resultados, 5. Permitir la comparabilidad entre ciudades, 6. Considerar la estandarización de indicadores, 7. Definir umbrales, 8. Contextualizar indicadores en cada localidad, 9. Mejorar la implementación, seguimiento y monitoreo, y 10. Tener en cuenta su aplicabilidad.

Cada uno de estos criterios fueron discutidos en el documento, visibilizando sus ventajas y limitaciones. Los dos primeros criterios favorecen la toma de decisiones, y sobre todo el segundo es fundamental para la planificación urbana. El tercer criterio genera una mayor garantía en el cumplimiento de objetivos establecidos por la localidad. El cuarto y séptimo criterio permite medir el progreso hacia el desarrollo sostenible. El quinto y sexto criterio facilitan la comparación entre ciudades, especialmente de aquellas con desafíos similares. Esto permite aprender de otras experiencias, sin embargo, limita el octavo criterio sobre la contextualización de indicadores. Los mayores desafíos están relacionados con los dos últimos criterios. El noveno porque depende del compromiso de los diferentes niveles de gobierno con las ciudades y del décimo por la dependencia de contar con datos disponibles, accesibles, confiables y frecuentes. También se recalca la importancia de que los indicadores puedan ser mejorados cada cierto tiempo, de manera que se adapten a las circunstancias cambiantes de la localidad. Como ejemplo, la actual pandemia que demanda de indicadores que midan el impacto generado para una mejor toma de decisiones.

Este estudio establece las bases de investigación para la definición de indicadores en áreas urbanas considerando los actuales desafíos. El siguiente paso de la investigación consiste en integrar nuevos enfoques que permitan una evaluación más exhaustiva de aspectos concretos como el comportamiento energético de edificaciones, que aporten en la toma de decisiones y planificación urbana.

commitment of the different levels of government to the cities and the tenth because of the dependence on available, accessible, reliable, and frequent data. It also emphasizes the importance of the indicators being improved from time to time, so that they can be adapted to the changing circumstances of the locality. As an example, the current pandemic demands indicators that measure the impact generated for better decision-making.

This study establishes the research bases for the definition of indicators in urban areas, considering current challenges. The next step of the research consists of integrating new approaches that allow a more exhaustive evaluation of specific aspects such as the energy behavior of building, which contribute to decision-making and urban planning.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] The World Bank, "Urban development," 2021. [Online]. Available: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview>. [Accessed: 04-May-2021].
- [2] CEPAL, "Plan de Acción Regional para la implementación de la Nueva Agenda Urbana en América Latina y el Caribe 2016-2036," 2017.
- [3] H. T. Tang and V. M. Lee, "The making of sustainable urban development: A synthesis framework," *Sustain.*, vol. 8, no. 5, pp. 1–28, 2016, doi: 10.3390/su8050492.
- [4] Y. Fu and X. Zhang, "Trajectory of urban sustainability concepts: A 35-year bibliometric analysis," *Cities*, 2017, doi: 10.1016/j.cities.2016.08.003.
- [5] H. Ahvenniemi, A. Huovila, I. Pinto-Seppä, and M. Airaksinen, "What are the differences between sustainable and smart cities?," *Cities*, 2017, doi: 10.1016/j.cities.2016.09.009.
- [6] T. Hák, S. Janouková, and B. Moldan, "Sustainable Development Goals: A need for relevant indicators," *Ecol. Indic.*, vol. 60, pp. 565–573, 2016, doi: 10.1016/j.ecolind.2015.08.003.
- [7] International Organization for Standardization, "ISO 37120:2018 Sustainable cities and communities - Indicators for city services and quality of life," 2018. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:37120:ed-2:v1:en>. [Accessed: 06-May-2021].
- [8] X. Dang et al., "Comparative study of city-level sustainability assessment standards in China and the United States," *J. Clean. Prod.*, vol. 251, p. 119622, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119622.
- [9] U.S. Green Building Council, "LEED v 4 for NEIGHBORHOOD DEVELOPMENT," 2018.
- [10] Y. A. Phillis, V. S. Kouikoglou, and C. Verdugo, "Urban sustainability assessment and ranking of cities," *Comput. Environ. Urban Syst.*, 2017, doi: 10.1016/j.compenvurbysys.2017.03.002.
- [11] International Organization for Standardization, "Sustainable development of communities - Indicators for city services and quality of life (ISO 37120).," 2014.
- [12] M. J. Marquez-Ballesteros, L. Mora-López, P. Lloret-Gallego, A. Sumper, and M. Sidrach-de-Cardona, "Measuring urban energy sustainability and its application to two Spanish cities: Malaga and Barcelona," *Sustain. Cities Soc.*, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2018.10.044.
- [13] L. Huang, J. Wu, and L. Yan, "Defining and measuring urban sustainability: a review of indicators," *Landsc. Ecol.*, vol. 30, no. 7, pp. 1175–1193, 2015, doi: 10.1007/s10980-015-0208-2.
- [14] M. Cohen, "A systematic review of urban sustainability assessment literature," *Sustain.*, vol. 9, no. 11, pp. 1–16, 2017, doi: 10.3390/su9112048.
- [15] United Nations, "Resolution adopted by The General assembly on 25 September 2015 - Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development," vol. 16301, no. 6, pp. 7–10, 2015, doi: 10.32870/dgedj.v0i6.106.
- [16] United Nations, "A/RES/71/313 Resolution adopted by the General Assembly on 06 July 2017 - Work of the Statistical Commission pertaining to the 2030 Agenda for Sustainable Development," vol. 11371, no. July, pp. 1–13, 2017, doi: 10.1109/TNSRE.2015.2480755.
- [17] United Nations, "Report of the inter-agency and expert group on sustainable development goal indicators," 2021.
- [18] United Nations, "IAEG-SDGs: Tier Classification for Global SDG Indicators," 2021. [Online]. Available: <https://unstats.un.org/sdgs/iaeg-sdgs/tier-classification>. [Accessed: 06-May-2021].
- [19] F. Koch and K. Krellenberg, "How to contextualize SDG 11? Looking at indicators for sustainable urban development in Germany," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 7, no. 12, 2018, doi: 10.3390/ijgi7120464.
- [20] United Nations Statistical Commission, "COVID-19 and the global SDG indicators," vol. 3, no. March, 2021.
- [21] Naciones Unidas, Nueva Agenda Urbana. Quito, 2017.
- [22] UN Habitat, "Action Framework for Implementation of the New Urban Agenda," 2017.
- [23] B. Giles-Corti, M. Lowe, and J. Arundel, "Achieving the SDGs: Evaluating indicators to be used to benchmark and monitor progress towards creating healthy and sustainable cities," *Health Policy*. 2019, doi: 10.1016/j.healthpol.2019.03.001.
- [24] D. Simon et al., "Developing and testing the Urban Sustainable Development Goal's targets and indicators – a five-city study," *Environ. Urban.*, vol. 28, no. 1, pp. 49–63, 2016, doi: 10.1177/0956247815619865.
- [25] S. C. Valencia et al., "Adapting the Sustainable Development Goals and the New Urban Agenda to the city level: Initial reflections from a comparative research project," *Int. J. Urban Sustain. Dev.*, vol. 11, no. 1, pp. 4–23, 2019, doi: 10.1080/19463138.2019.1573172.
- [26] J. M. White, "Standardising the city as an object of comparison: The promise, limits and perceived benefits of ISO 37120," *Telemat. Informatics*, vol. 57, no. February 2020, p. 101515, 2021, doi: 10.1016/j.tele.2020.101515.
- [27] P. Horn and J. Grugel, "The SDGs in middle-income countries: Setting or serving domestic development agendas? Evidence from Ecuador," *World Dev.*, 2018, doi: 10.1016/j.worlddev.2018.04.005.
- [28] S. Steiniger et al., "Localising urban sustainability indicators: The CEDEUS indicator set, and lessons from an expert-driven process," *Cities*, vol. 101, no. April 2018, p. 102683, 2020, doi: 10.1016/j.cities.2020.102683.
- [29] Y. Huan, H. Li, and T. Liang, "A new method for the quantitative assessment of Sustainable Development Goals (SDGs) and a case study on Central Asia," *Sustain.*, vol. 11, no. 13, pp. 1–27, 2019, doi: 10.3390/su11133504.
- [30] D. Marchetti, R. Oliveira, and A. R. Figueira, "Are global north smart city models capable to assess Latin American cities? A model and indicators for a new context," *Cities*, 2019, doi: 10.1016/j.cities.2019.04.001.

Urban Green infrastructure as a strategy to address urban energy efficiency and sustainability. A case study: the neighborhood of Milagrosa (Pamplona)

La Infraestructura Verde Urbana como estrategia para afrontar la eficiencia energética y la sostenibilidad urbanas. El barrio de la Milagrosa (Pamplona)

Itxaro Latasa¹, Angela Laurenz¹ y Juan Sádaba¹

ABSTRACT

The ecological-environmental crisis affecting the planet is largely caused by cities: they occupy 2% of the planet, consume 75% of energy and generate 80% of greenhouse gases. As this crisis is further intensified and climate change threatens human survival, urbanization continues to grow inexorably. According to estimates by the UN in 2018, by 2050 the urban population will grow from the current 55% to 68%. This will mean a percentage increase in urban land cover by 200% and therefore an increase in waterproofed and soil-sealing areas that will aggravate the city's environmental and climate problems. The urban system is therefore the great challenge of the future of sustainability. The Secretary-General of the Rio Summit declared in this way in 1992, when he stated that the battle of sustainability will finally be decided in the cities. To deal with this aggravation of the urban environmental problem, theoretical strategies and frameworks are needed to address sustainability from integrated approaches that harmonize human (economic and social) and environmental needs. Green Infrastructure (GI) has gained increased prominence in recent years as it has emerged as an essential element in achieving this goal. This is a novel, multi-scale approach, which in the case of cities (UGI urban green infrastructure) aims to contribute to energy savings, to tackle climate change, to increase resilience and to improve the quality of life of citizens, ultimately creating sustainable cities and communities, as outlined by the 2030 Agenda in its SDP Objective 11. From the envisaged approach, the paper presents the initial results of a research study aimed at analyzing the challenges posed by the implementation of urban green infrastructure. The research is approached from the disciplinary field of architecture through a case study of the neighborhood of La Milagrosa, in the Navarrese city of Iruña. It is a neighborhood created in the developing era, characterized, like so many others, by the low residential quality and a use that left few free spaces and consequently few green spaces and street trees. A comparative analysis of the city's neighbourhoods using GIS tools provides revealing results and, above all, reveals the high intra-urban inequalities with respect to the provision of elements (urban trees) and green spaces. On the other hand, the morphological analysis of the urban space of La Milagrosa shows that the narrowness of the road and the scarcity of free spaces constitute obstacles that require the design of specific strategies and resources to address the renaturalization of such spaces. It is not only about improving the quality of life but about designing alternatives to increase the ecological quality of these disadvantaged areas and ensure their functionality as elements for improving energy efficiency and combating climate change. For this purpose, the alternatives proposed from the framework of the so-called Nature-Based Solutions (SbN) are explored and the necessary changes in the current urban planning model are reflected to meet the challenges of urban sustainability. .

Key Words: Urban Green Infrastructure, sustainability, GIS, compact cities

(1) Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Plaza Oñati, 2. 20018 Donostia - San Sebastián

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad de introducir la naturaleza en las ciudades no es algo nuevo pero sí se ha convertido en una necesidad imperiosa de la mano de una conciencia cada vez más extendida de la crisis ambiental que estamos viviendo (y que podría alcanzar consecuencias dramáticas e, incluso, comprometer nuestra existencia en el planeta) y de la importancia que tienen los espacios urbanos en el tránsito hacia un modelo más sostenible de relación con el planeta.

En las últimas décadas un número importante de investigaciones ha demostrado los numerosos e importantes beneficios que producen los espacios verdes urbanos tanto a sus habitantes como al ecosistema [1]. Por otro lado, también se hace cada vez más evidente la necesidad y a la vez idoneidad de los elementos e infraestructuras verdes para evitar y paliar los efectos del cambio climático en las ciudades y, en esta línea, para mejorar su eficiencia energética. Las razones se suman de modo que la renaturalización de las ciudades (en el marco más complejo de una transición global hacia la sostenibilidad) se ha incorporado a la agenda de prioridades ambientales y sociales.

La conferencia de la ONU Río+20 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible, también conocida como Cumbre de la Tierra), celebrada en Río de Janeiro en 2012, fue un hito importante en lo que se refiere a la relación entre el medio ambiente y el hábitat, en tanto que instituyó definitivamente la conciencia de la relación ineludible entre los problemas ecológicos a escala global y la extensión del proceso urbanizador [2]. En dicha conferencia también el desarrollo de los espacios verdes urbanos se consideró un indicador importante de la sostenibilidad urbana [3]. La Tercera Conferencia de Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III), celebrada en Quito en 2016, incorporó a la Agenda Urbana referencias importantes sobre los espacios verdes en la consecución de ciudades más sostenibles y resilientes. Dentro de la línea temática dedicada al espacio público, se resaltó el valor y la función de los espacios verdes en las estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático y como hábitats de la vida silvestre. La Agenda Urbana Española, elaborada para cumplir los compromisos adquiridos por España en el cumplimiento de los acuerdos internacionales tiene como primer objetivo estratégico "ordenar el territorio y hacer un uso racional del suelo, conservarlo y protegerlo". Este objetivo estratégico integra tres objetivos específicos, siendo el tercero de ellos el de "mejorar las infraestructuras verdes y azules y vincularlas con el contexto natural". Por último, la Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030 incluye un llamamiento de la Comisión Europea a las ciudades de más de 20.000 habitantes o más "para que elaboren, antes de finales de 2021, ambiciosos planes de ecologización urbana que incluyan medi-

1. INTRODUCTION

The need to introduce nature in cities is not something new but it has become an imperative need hand in hand with an increasingly widespread awareness of the environmental crisis we are experiencing (and that could reach dramatic consequences and compromise our existence on the planet) and the importance of urban spaces in the transition to a more sustainable model of relationship with the planet.

In recent decades a significant number of researches have demonstrated the numerous and important benefits that urban green spaces produce both to their inhabitants and to the ecosystem [1]. On the other hand, the need and the appropriateness of green elements and infrastructures to avoid and alleviate the effects of climate change in cities is also becoming increasingly evident. The reasons add up so that the renaturalization of cities (in the most complex context of a global transition to sustainability) has been incorporated into the agenda of environmental and social priorities.

The UN Rio+20 conference (United Nations Conference on Sustainable Development, also known as the Earth Summit), held in Rio de Janeiro in 2012, was an important milestone in terms of the relationship between the environment and habitat, as it definitively instituted awareness of the inescapable relationship between ecological problems on a global scale and the extension of the urbanization process [2].

At that conference, the development of urban green spaces was also considered an important indicator of urban sustainability [3]. The Third United Nations Conference on Housing and Sustainable Urban Development (Habitat III), held in Quito in 2016, incorporated into the Urban Agenda important references on green spaces in achieving more sustainable and resilient cities.

Within the thematic line dedicated to public space, the value and role of green spaces in climate change mitigation and adaptation strategies and as wildlife habitats was highlighted. The Spanish Urban Agenda, elaborated to fulfill the commitments acquired by Spain in the fulfillment of the international agreements has as its first strategic objective "to order the territory and make a rational use of the land, conserve it and protect it". This strategic objective integrates three specific objectives, the third of which is to "improve green and blue infrastructures and link them with the natural context". Finally, the EU Biodiversity Strategy by 2030 includes a call from the European Commission on cities with more than 20,000 inhabitants or more "to develop, by the end of 2021, ambitious urban greening plans that include measures to create accessible and biodiversity-rich urban forests, parks and gardens; urban farms; green

das para crear bosques urbanos, parques y jardines accesibles y ricos en biodiversidad; granjas urbanas; muros y cubiertas verdes; calles arboladas; praderas urbanas y setos urbanos" [4].

El creciente interés en relación a los espacios verdes urbanos como ámbito de acción y de investigación para paliar los problemas ambientales y de sostenibilidad de las áreas urbanas ha dado lugar, en los últimos años, a un incremento sostenido de la producción científica. Se ha ido generando, de este modo, un vasto campo de investigación en el que participan numerosas disciplinas científicas. Desde la Ecología, el Urbanismo, las Ciencias Forestales, la Biología, entre otras muchas, se desarrollan líneas y enfoques de investigación muy diversos y también muy dispersos [5]. McPhearson et al. [6] identificaron hasta veinte campos de conocimiento diferentes en la investigación sobre ecología urbana. Este tipo de trabajos evidencian la complejidad de una tarea que exige un enfoque multidisciplinar, interdisciplinar o transdisciplinar (o, incluso, de una disciplina sintética) y que demanda, sobre todo, respuestas y orientaciones claras que puedan guiar la transformación de los modelos y de los espacios urbanos actuales. La necesidad de un enfoque integrador de conocimientos, disciplinas e, incluso, de métodos es un tópico en este campo de investigación, en el que habitualmente también se destacan las dificultades que se derivan de la persistencia de los silos de investigadores y profesionales [7].

En este contexto dominado por la dispersión temática y disciplinar existen tres conceptos que representan enfoques sistémicos en los que se emplean intervenciones específicas para resolver problemas de sostenibilidad: infraestructura verde (IV), soluciones basadas en la naturaleza (SbN) y adaptación basada en ecosistemas (AbE) [8]. Independientemente de las diferencias de enfoque o aproximación que implican cada uno de los tres conceptos y de los debates en relación al significado preciso de ellos, los tres presentan rasgos comunes y constituyen herramientas teórico-prácticas para abordar de forma holística la renaturalización de las ciudades o, si se prefiere, su restauración ecológica.

En 2013, la Comisión Europea definió la IV como una red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos. Incluye espacios verdes (o azules si se trata de ecosistemas acuáticos) y otros elementos físicos en áreas terrestres (naturales, rurales y urbanas) y marinas [9]. Al tratarse de una estructura espacial que genera beneficios de la naturaleza a las personas, la infraestructura verde tiene como objetivo mejorar la capacidad de la naturaleza para facilitar bienes y servicios ecosistémicos múltiples y valiosos, tales como agua o aire limpios.

walls and roofs; tree-lined streets; urban meadows and urban hedgerows" [4].

The growing interest in urban green spaces as an area of action and research to alleviate the environmental and sustainability problems of urban areas has led, in recent years, to a sustained increase in scientific production. In this way, a vast field of research has been generated in which numerous scientific disciplines participate. From Ecology, Urbanism, Forest Sciences, Biology, among many others, very diverse and also very dispersed lines and approaches of research are developed [5],[6] identified up to twenty different fields of knowledge in urban ecology research. This type of work demonstrates the complexity of a task that requires a multidisciplinary, interdisciplinary or transdisciplinary approach (or even a synthetic discipline) and that demands, above all, clear answers and orientations that can guide the transformation of current models and urban spaces. The need for an integrative approach to knowledge, disciplines and even methods is a topic in this field of research, which usually also highlights the difficulties arising from the persistence of the silos of researchers and professionals [7].

In this context dominated by thematic and disciplinary dispersion, there are three concepts that represent systemic approaches in which specific interventions are used to solve sustainability problems: green infrastructure (IV), nature-based solutions (SbN) and ecosystem-based adaptation (AbE) [8].

Regardless of the differences in approach involved in each of the three concepts and the debates regarding the precise meaning of them, all three have common features and constitute theoretical-practical tools to address the renaturalization of cities in a holistic way or, if preferred, their ecological restoration.

In 2013, the European Commission defined the IV as a strategically planned network of high-quality natural and semi-natural areas with other environmental elements, designed and managed to provide a wide range of ecosystem services and protect the biodiversity of both rural and urban settlements. It includes green spaces (or blue for aquatic ecosystems) and other physical elements in terrestrial (natural, rural and urban) and marine areas [9]. As a spatial structure that generates benefits from nature to people, green infrastructure aims to improve nature's ability to provide multiple and valuable ecosystem goods and services, such as clean water or air.

In the case of the IV, beyond a concept we can speak of an approach, that is, of a way of understanding the relationship, nowadays very deteriorated, between the human being and nature, to improve that relationship and to address the problems related to it. Bearing in mind that harmonizing economic development with ecological integrity and social justice

En el caso de la IV, más allá de un concepto podemos hablar de un enfoque, es decir, de un modo de entender la relación, hoy en día muy deteriorada, entre el ser humano y la naturaleza, de mejorar dicha relación y de abordar los problemas relativos a ella. Teniendo en cuenta que armonizar el desarrollo económico con la integridad ecológica y la justicia social constituyen los mayores retos que amenazan el bienestar social en todo el planeta, el enfoque de la IV trata de aportar soluciones mediante un marco de pensamiento y de acción destinado a reconciliar las divergencias entre las posturas conservacionistas, el desarrollo económico y la equidad social.

En el ámbito del urbanismo y la planificación, el concepto de IV está viniendo a remplazar al de zonas verdes, cuya función estaba fundamentalmente relacionada con la estética y la recreación. Los espacios verdes interconectados, formando una red, proporcionan un abanico mucho más amplio de servicios (servicios ecosistémicos) que van desde la salud, al aprovisionamiento (huertos urbanos) a la adaptación y resistencia frente a los efectos del cambio climático (islas de calor, inundaciones). Por otro lado, la conexión entre elementos verdes genera pasillos de comunicación para la flora y la fauna, contribuyendo de este modo a frenar la pérdida de biodiversidad. En definitiva, independientemente de los objetivos concretos y de las características particulares de los distintos entornos locales, la IVU se define por su multifuncionalidad y conectividad [3], pudiéndose entonces definir como «una red interconectada y complementaria de espacios verdes urbanos que incluye a todos aquellos elementos destacados por su importancia ambiental, paisajística o patrimonial, así como a sus correspondientes procesos y flujos ecológicos» [10]. La red está por tanto integrada por los elementos y los procesos y flujos que se producen dentro y entre ellos.

La construcción de una infraestructura verde, sea cual sea la escala a la que se plantee, es una apuesta y un reto de gran envergadura para los responsables de su creación que, en el caso del estado español son las comunidades autónomas y los ayuntamientos. Teniendo en cuenta que en las políticas de intervención urbano-territoriales todavía domina la separación efectiva entre las estrategias urbanas y las ambientales (teóricamente superada en los discursos académicos e institucionales) [2], el reto consiste, en gran medida, en incorporar el enfoque ecológico a la ordenación del territorio y a la planificación urbana, situando la ecología, los servicios ecosistémicos y los riesgos ambientales como preocupaciones centrales de la práctica de planificación [11]). Pero los retos no se acaban ahí. La construcción de una IVU, es decir, de una red de espacios verdes conectados espacial y funcionalmente, en muchos casos, debe diseñarse y crearse desde cero, generando espacios verdes nuevos o realizando restauraciones ecológicas donde las condiciones lo permitan. El objetivo no es incrementar, sin más, los parques y las superficies verdes

are the greatest challenges that threaten social well-being across the globe, the fourth approach seeks to provide solutions through a framework of thought and action aimed at reconciling divergences between conservationist positions, economic development and social equity.

In the field of urban planning, the concept of IV is replacing that of green areas, whose function was fundamentally related to aesthetics and recreation. Interconnected green spaces, forming a network, provide a much wider range of services (ecosystem services) from health, to supply (urban gardens) to adaptation and resilience to the effects of climate change (heat islands, floods). On the other hand, the connection between green elements generates communication corridors for flora and fauna, thus contributing to slowing the loss of biodiversity. In short, regardless of the specific objectives and the particular characteristics of the different local environments, the UGI is defined by its multifunctionality and connectivity [3], being able to define itself as “an interconnected and complementary network of urban green spaces that includes all those elements highlighted by their environmental, landscape or heritage importance, as well as their corresponding ecological processes and flows” [10]. The network is therefore composed of the elements and the processes and flows that occur within and between them.

The construction of a green infrastructure, whatever the scale at which it is proposed, is a bet and a challenge of great magnitude for those responsible for its creation that, in the case of the Spanish state are the autonomous communities and the municipalities.

Taking into account that in urban-territorial intervention policies the effective separation between urban and environmental strategies still dominates (theoretically surpassed in academic and institutional discourses) [2], the challenge is, to a large extent, to incorporate the ecological approach to regional planning and urban planning, placing ecology, ecosystem services and environmental risks as central concerns of planning practice [11].

But the challenges are not over yet, however. The construction of an UGI, that is, a network of spatially and functionally connected green spaces, in many cases, must be designed and created from scratch, generating new green spaces or carrying out ecological restorations where conditions allow it. The objective is not to increase, without further ado, the parks and green surfaces of the cities but to integrate in network spaces that act as habitats and refuges of species or as connectors of these and that contribute to the improvement of the quality of the water or the air, to the control of the runoff, to regulate the microclimate or to connect the city with its surroundings.

de las ciudades sino integrar en red espacios que actúen como hábitats y refugios de especies o como conectores de estos y que contribuyan a la mejora de la calidad del agua o del aire, al control de la escorrentía, a regular el microclima o a conectar la ciudad con su entorno.

En definitiva, la creación de una IVU exige un trabajo minucioso de planificación en el que se deben tomar numerosas decisiones y jerarquizar prioridades con respecto a las zonas urbanas que necesitan mayor nivel de intervención o más urgente, al tipo de servicios ecosistémicos que conviene priorizar o a las soluciones que se puedan utilizar con el fin de obtener el mayor número posible de funciones para un mismo espacio. En cualquier caso, el criterio de optimizar multifuncionalidad debería ser un objetivo clave de la planificación de la IVU [12].

El diseño e implementación de la IVU resultan especialmente complejos en entornos urbanos compactos y consolidados en los que además suelen existir sectores o barrios especialmente densos y abigarrados, caracterizados por la yuxtaposición de edificaciones y carreteras con espacios intersticiales limitados para insertar elementos verdes. Este tipo de tramas urbanas, que abundan en las ciudades que experimentaron crecimientos rápidos y escasamente planificados, de la España desarrollista requieren una atención especial por parte de los planificadores.

El trabajo que se presenta expone los resultados de un estudio realizado para cartografiar y cuantificar los espacios que pueden formar parte de la IVU de la ciudad de Iruña, con el fin de detectar las diferencias entre los distintos sectores urbanos como base para identificar áreas de actuación preferente en el diseño de la IVU. Se pretende aportar resultados que puedan incorporarse en forma de criterios y propuestas a los procesos planeamiento urbano de la ciudad, desde la perspectiva disciplinar de la arquitectura e incorporando el enfoque ecológico y aspectos claves de la IV como son la conectividad y la multifuncionalidad.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Pamplona es una ciudad de tamaño medio ubicada en el norte del territorio peninsular español, dentro de un corredor que recorre de este a oeste la cadena montañosa de los Pirineos, conocido como Depresión Media Prepirenaica. Es la capital de la comunidad autónoma de Navarra y núcleo de referencia de una región en la que habitan 661.023 personas (1 de enero de 2021, INE)

Como muchas de las ciudades españolas que tuvieron un proceso de industrialización y urbanización acelerado desde los años sesenta del siglo XX, la estructura urbana de la ciudad se organiza en un área central rodeada de barrios periféricos surgidos en un

In short, the creation of an UGI requires a thorough planning work in which numerous decisions must be made and priorities must be hierarchized with regard to urban areas that need the highest level of intervention or more urgent, the type of ecosystem services that should be prioritized or the solutions that can be used in order to obtain the greatest possible number of functions for the same space. In any case, the criterion of optimizing multifunctionality should be a key objective of UGI planning [12].

The design and implementation of the UGI are especially complex in compact and consolidated urban environments in which there are also usually particularly large and variegated sectors or neighborhoods, characterized by the juxtaposition of buildings and roads with limited interstitial spaces to insert green elements. This type of urban plots, which abound in cities that experienced rapid and poorly planned growth, of "developmentist" Spain require special attention from planners.

This work exposes the results of a study carried out to map and quantify the spaces that can be part of the UGI of the city of Iruña, in order to detect the differences between the different urban sectors as a basis for identifying areas of preferential action in the design of the UGI. It is intended to provide results that can be incorporated in the form of criteria and proposals to the urban planning processes of the city, from the disciplinary perspective of architecture and incorporating the ecological approach and key aspects of the IV such as connectivity and multifunctionality.

2. STUDY AREA

Pamplona is a medium-sized city located in the north of the Spanish peninsular territory, within a corridor that runs from east to west the mountain range of the Pyrenees, known as the Pre-Pyrenean Middle Depression. It is the capital of the autonomous community of Navarre and the nucleus of reference of a region in which 661,023 people live (January 1, 2021, INE)

Like many of the Spanish cities that had a process of industrialization and accelerated urbanization since the sixties of the twentieth century, the urban structure of the city is organized in a central area surrounded by peripheral neighborhoods emerged in a process of growth more guided by the obtaining of

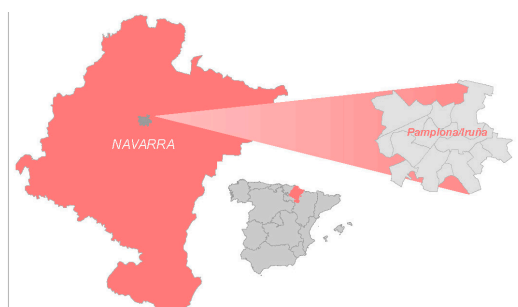


Fig. 1 .
Location map

proceso de crecimiento más guiado por la obtención de beneficios que por la calidad del espacio construido.

Aunque el área central (casco antiguo y ensanches) y la orla de barrios periféricos forman un continuo construido bastante compacto, la ciudad de Pamplona cuenta con un buen número de parques y jardines que alivian la densidad y compacidad de la trama urbana. De hecho, en 2018, la Asociación Española de Parques y Jardines Públicos calificó a Pamplona como una de las ciudades españolas con mayor proporción de árboles y superficies verdes por habitante. La recuperación de las riberas de los ríos Arga, Elorz y Sadar y la creación de un parque fluvial o actuaciones pioneras como la del campus de la Universidad Pública de Navarra proporcionaron espacios verdes de gran calidad a la ciudad, reflejando el interés de los gestores públicos por la mejora del espacio urbano.

Sin embargo, aunque los indicadores sobre áreas verdes y arbolado son muy positivos para la ciudad en conjunto, existen diferencias internas importantes y, existen, sobre todo, áreas francamente desfavorecidas. Es el caso del barrio de La Milagrosa.

La Milagrosa es un barrio en la zona sur de la ciudad, en continuidad espacial con el ensanche ortogonal, cuya construcción se inició a principios de los años sesenta del pasado siglo para dar respuesta a la demanda residencial de la población inmigrante que llegaban a cubrir la demanda de mano de obra de la industria. Construido sobre el parcelario rural preexistente y sobre una topografía compleja y en pendiente, la necesidad de unos y la ambición de otros se conjugó para crear un espacio urbano carente de plazas, espacios públicos y dotaciones, de calles angostas e inconexas. Aunque algunas actuaciones posteriores han creado espacios públicos en las zonas de borde del barrio, en líneas generales se mantiene la trama urbana original cuya regeneración ecológica debería incluir actuaciones para liberar la trama urbana e incorporar espacios verdes que pudieran integrarse dentro de la futura red de infraestructura verde de la ciudad.

3. METODOLOGÍA

Para el estudio se considera espacio verde a todas las áreas urbanas con algún tipo de vegetación (herbácea, arbustiva o arbórea) en contacto directo con el suelo natural, independientemente del tamaño de dicho espacio o de la propiedad. Aunque los servicios ecosistémicos que proporcionan los distintos espacios verdes pueden ser muy variables, en función de la composición o el estado de conservación (entre otros), el hecho de que sean superficies permeables sumado a la posibilidad que ofrecen como elementos de conectividad de la IVU ha llevado a no excluir ninguno de ellos de este inventario inicial.

benefits than by the quality of the built space.

Although the central area (old town and expansion district -Ensanche-) and the stripe of peripheral neighborhoods form a fairly compact built continuum, the city of Pamplona has a good number of parks and gardens that alleviate the density and compactness of the urban fabric. In fact, in 2018, the Spanish Association of Public Parks and Gardens rated Pamplona as one of the Spanish cities with the highest proportion of trees and green surfaces per inhabitant. The recovery of the banks of the Arga, Elorz and Sadar rivers and the creation of a river park or pioneering actions such as the campus of the Public University of Navarra provided high quality green spaces to the city, reflecting the interest of public managers in improving the urban space.

However, although the indicators on green and wooded areas are very positive for the city as a whole, there are important internal differences and, above all, frankly disadvantaged areas. This is the case of the neighborhood of La Milagrosa.

La Milagrosa is a neighborhood in the south of the city, in spatial continuity with the orthogonal Ensanche, whose construction began in the early sixties of the last century to respond to the residential demand of the immigrant population that came to meet the demand for labor from the industry. Built on the pre-existing rural plot and on a complex and sloping topography, the need of some and the ambition of others came into play to create an urban space devoid of squares, public spaces and endowments, of narrow and disjointed streets. Although some subsequent actions have created public spaces in the edge areas of the neighborhood, on the whole, the original urban fabric is maintained, whose ecological regeneration should include actions to free up the urban fabric and incorporate green spaces that could be integrated into the future network of green infrastructure of the city.

3. METHODOLOGY

For the study, all urban areas with some type of vegetation (herbaceous, shrubby or arboreal) in direct contact with the natural soil, regardless of the size or the property, are considered green spaces. Although the ecosystem services provided by the different green spaces can be very variable, depending on the composition or the conservation state (among others), the fact that they are permeable surfaces, added to the possibility they offer as connectivity elements of the UGI has led to not excluding any of them from this initial inventory.

As a source of information has been used the digital cartography of gardens of the City of Pamplona, which has been completed with the cartography made by NASUVINSA for the study Green Infrastructure Area Pamplona and surroundings, ceded by

Como fuente de información se ha utilizado la cartografía digital de jardines del Ayuntamiento de Pamplona, que se ha completado con la cartografía realizada por NASUVINSA para el estudio Infraestructura Verde Área Pamplona y alrededores, cedida por dicha entidad. La información se ha completado, por último, con la digitalización mediante software de ArcMap a partir de la ortofoto municipal de 2020, a escala 1/5.000 (Fig. 2).

En verde las superficies verdes. En punteado gris oscuro el arbolado

Con el fin de analizar las diferencias internas en la disponibilidad y distribución espacial de los elementos susceptibles de incorporarse a la futura infraestructura verde de la ciudad de Pamplona se han utilizado los tres indicadores de carácter cuantitativo más habituales en la literatura científica: el número de árboles, la superficie de las áreas verdes y la accesibilidad de la población a las mismas [3],[13].

Los árboles son elementos vegetales primordiales y estructurales del espacio urbano. Son también elementos visuales y simbólicos y, sobre todo cumplen una función importante en la mitigación de la isla de calor, el enfriamiento del aire a través de la evapotranspiración, en la infiltración de agua en el suelo [14], en la salud pública, la justicia ambiental, la calidad del agua y la polución ambiental [15].

El cómputo del arbolado se ha realizado en referencia a la unidad de superficie (árboles por hectárea) y al número de habitantes de la unidad de análisis (número de árboles por habitante).

that entity. The information has finally been completed with the digitization using ArcMap software from the municipal orthophoto of 2020, at 1/5,000 scale (Fig. 2).

In green the green surfaces. In dark grey dots the woodland.

In order to analyze the internal differences in the availability and spatial distribution of the elements likely to be incorporated into the future green infrastructure of the city of Pamplona, the three most common quantitative indicators in the scientific literature have been used: the number of trees, the surface of the green areas and the accessibility of the population to them [3],[13].

Trees are primordial and structural elements of the urban space. They are also visual and symbolic elements and, above all, play an important role in the mitigation of the heat island, the cooling of the air through evaporation, in the infiltration of water into the soil [14], in public health, environmental justice, water quality and environmental pollution [15].

The calculation of the woodland has been carried out in reference to the unit of area (trees per hectare) and the number of inhabitants of the unit of analysis (number of trees per inhabitant).

The surface of green areas calculates the percentage of green spaces in relation to the total area of the selected spatial unit (neighborhood, city, etc.). In addition to the information on the availability of green areas of the study area, this indicator is used to evaluate



Fig.2. Map of green surfaces. Own elaboration on cartographic basis of the City council of Pamplona

La superficie de áreas verdes calcula el porcentaje de espacios verdes en relación a la superficie total de la unidad espacial seleccionada (barrio, ciudad, etc.). Además de la información sobre las características dotacionales del área de estudio este indicador se utiliza para evaluar la superficie permeable y, por tanto, las propiedades del área como regulador hídrico. Mediante los dos indicadores se obtiene información relativa a la calidad de vida y, por tanto, a las diferencias entre sectores urbanos (objetivo de este estudio) y a las áreas que, por su escasez de suelos permeables o por la presencia de tramas complejas, requerirán mayor esfuerzo y prioridad en la planificación de la Infraestructura Verde Urbana (IVU).

La ponderación de los datos con respecto a los habitantes se ha realizado mediante información proporcionada por el Instituto Estadístico de Navarra (NASTAT), actualizados a 1 de julio de 2020. La entidad proporcionó los datos de población georreferenciados, agrupados a escala de portal. Esto ha permitido calcular de forma ajustada los ratios del arbolado y las superficies verdes en relación a los habitantes, sin depender de otras unidades estadísticas que no sean las elaboradas para el presente estudio.

Para el cálculo de la accesibilidad de la población a los espacios verdes se ha tomado como referencia la propuesta de Hernández et al. [16] en relación a los óptimos dotacionales. Los espacios verdes de proximidad, es decir, aquellos que ofrecen una función de contacto diario con el verde son las zonas ajardinadas, plazas y áreas que ocupan una superficie mayor a 1.000 m² y que se sitúan a una distancia menor de 200 m. con respecto al lugar de residencia.

La unidad espacial de análisis elegida ha sido el barrio, por ser una unidad morfológica y estructural que presenta una homogeneidad frente a otras áreas vecinas en lo que se refiere a composición social, tipos o densidades constructivas. [17]. Sin embargo, en base a los objetivos del estudio, se ha decidido tener en cuenta no la superficie completa de los distintos barrios sino solamente la superficie de las áreas que forman un continuo construido (Fig. 3). Esto deja fuera del cálculo los espacios verdes como los parques urbanos de extensión superior a 1 ha, las áreas urbanizables o los suelos de preservación, de modo que es posible obtener una comparativa real entre las tramas urbanas (continuos construidos) de los barrios. La inclusión de los espacios verdes grandes en los cálculos eleva notablemente las cifras de algunos barrios, enmascarando en algunos casos la existencia de áreas ambientalmente problemáticas y proporcionando una imagen de las mismas bastante alejada de la realidad.

4. RESULTADOS

El análisis de la distribución espacial de las áreas verdes en los distintos barrios de la ciudad (Fig. 4), revela elevadas diferencias y, por tanto, un fuerte

laue the permeable surface and, therefore, the properties of the area as a water regulator. Through the two indicators, information is obtained regarding the quality of life and, therefore, the differences between urban sectors (objective of this study) and the areas that, due to their scarcity of permeable soils or the presence of complex plots, will require greater effort and priority in the planning of the UGI.

The weighting of the data in relation to the inhabitants has been carried out using information provided by the Statistical Institute of Navarra (NASTAT), updated to July 1, 2020. The feature provided the georeferenced population data, grouped at portal scale. This has allowed to calculate, in an adjusted way, the ratios of the woodland and the green surfaces in relation to the inhabitants, without depending on other statistical units than those elaborated for the present study.

For the calculation of the accessibility of the population to green spaces the proposal of Hernández et al. [16] in relation to the optimal surfaces of green spaces has been taken as a reference. The proximity green spaces, that is, those that offer a function of daily contact with the green, are the garden areas, squares and areas that occupy a surface greater than 1,000 m² and that are located at a distance of less than 200 m with respect to the place of residence.

The spatial unit of analysis chosen has been the neighborhood, because it is a morphological and structural unit that presents a homogeneity compared to other neighboring areas in terms of social composition, types or constructive densities. [17]. However, based on the objectives of the study, it has been decided to take into account not the entire surface of the different neighborhoods, but only the surface of the areas that form a continuous built environment (Fig. 3).

This leaves out of the calculation green spaces such as urban parks greater than 1 ha, developable areas or preservation soils, so that it is possible to obtain a real comparison between the urban plots (continuous built) of the neighborhoods. The inclusion of large green spaces in the calculations significantly raises the figures of some neighborhoods, masking, in some cases, the existence of environmentally problematic areas and providing an image of them quite far from reality.

4. RESULTS

The analysis of the spatial distribution of the green areas in the different neighborhoods of the city (Fig. 4), reveals high differences and, therefore, a strong internal imbalance. The green surface indicator (percentage of the surface of the considered area) shows a very important range of variation. The Milagrosa and the Old Town, with 6 and 7% of green surfaces respectively, are well below the average and, of

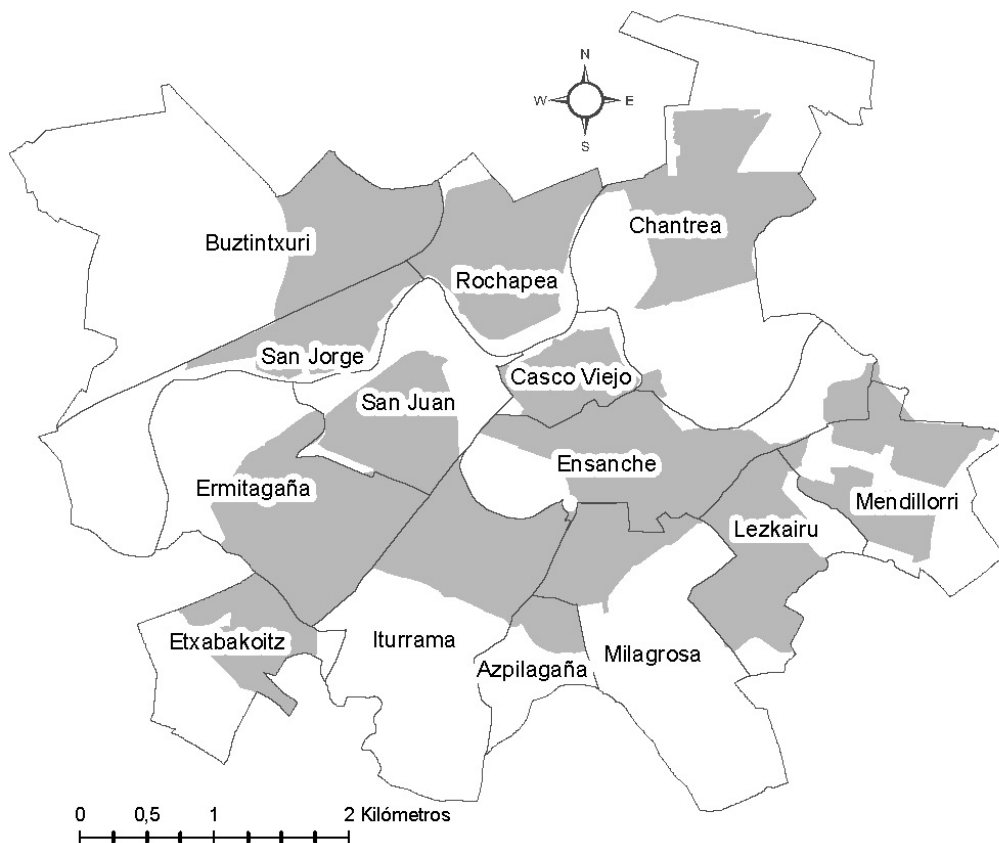


Fig.3. Delimitation Pamplona's neighbourhoods. The grey spots inside the contours correspond to the built-up areas. The contours correspond to the administrative limits of the districts. Prepared by the authors on the basis of Pamplona City Council maps.

desequilibrio interno. El indicador de superficie verde (porcentaje de la superficie del área considerada) muestra un rango de variación muy importante. La Milagrosa y el Casco Viejo, con un 6 y un 7% de superficies verdes respectivamente, están muy por debajo de la media y, por supuesto, a una distancia abismal de sectores como los de Mendillorri y Etxabakoitz, que alcanzan los valores del 25% y 34% respectivamente. Las diferencias son igual de llamativas en el indicador de superficie verde por habitante. De nuevo encontramos La Milagrosa y el Casco Viejo a la cabeza de los espacios peor dotados, con 2 y 3m² de superficie verde por habitante, es decir, con valores más de cuatro veces menores a las medias, que, por otra parte, son muy elevadas por la influencia que ejercen los altos valores de Etxabakoitz, Mendillorri y Buztintxuri.

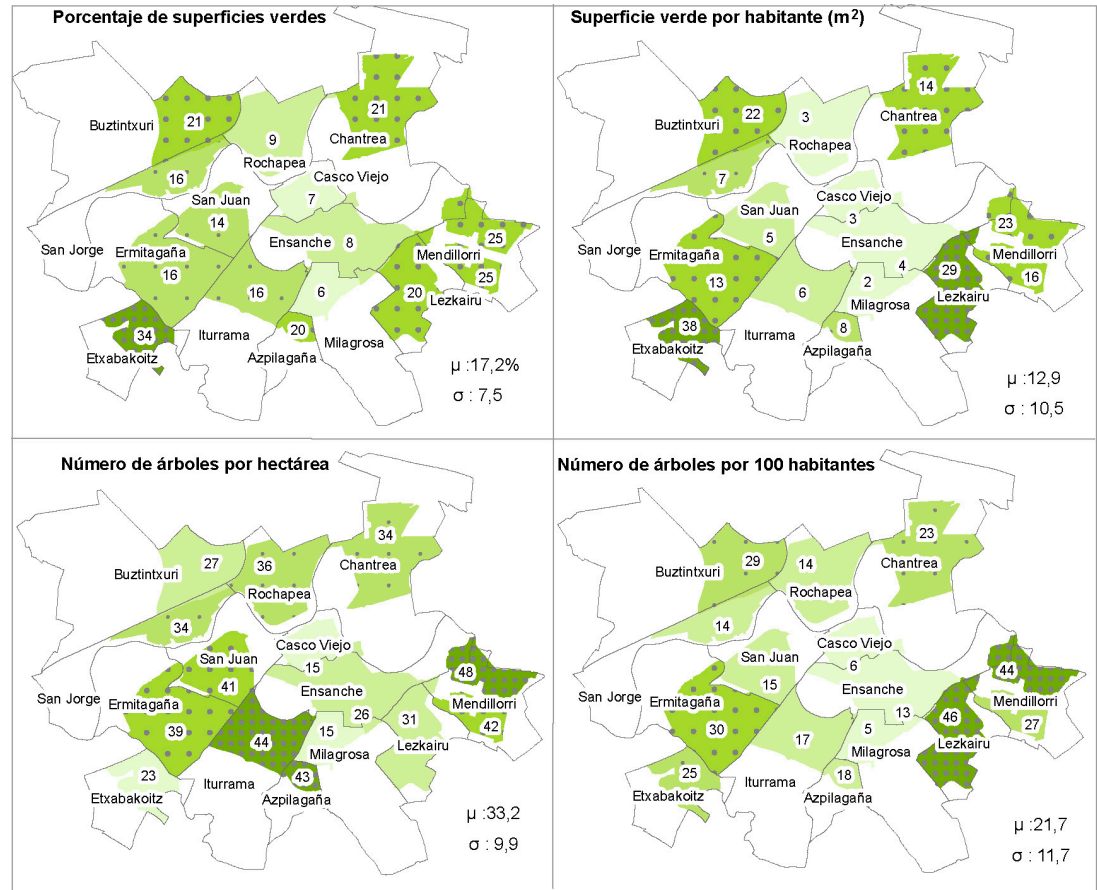
Los resultados obtenidos en el sector de Lezkairu deben interpretarse de forma estrictamente provisional ya que se trata de un barrio actualmente en construcción

Los resultados obtenidos en el indicador de árboles por 100 habitantes y por unidad de superficie muestran también una elevada variabilidad, pero su distribución espacial difiere con respecto a la de las superficies verdes y completan la instantánea de los espacios verdes urbanos de Pamplona. Nótese, por ejemplo, que, a diferencia de los bajos valores obtenidos para el Ensanche en las superficies verdes, los indicadores de árboles presentan cifras mucho más próximas a la media de los continuos urbanos y también, por ejemplo, a la media de 14,4 árboles por cien

course, at an abysmal distance from sectors such as Mendillorri or Etxabakoitz, which reach values up to 25 and 34% respectively. The differences are just as striking in the green surface per inhabitant indicator. Again, we find La Milagrosa and the Old Town at the head of the worst endowed spaces, with 2 and 3m² of green surface per inhabitant, that is, with values more than four times lower than the averages. On the other hand, the average values are very high due to the influence exerted by the high values of Buztintxuri, Etxabakoitz and Mendillorri.

The results for the indicator of trees per inhabitant (100) and per area unit also show a high variability, but their spatial distribution differs respect to the distribution of green surfaces. These results complete the image of the urban green spaces of Pamplona. Note, for example, that unlike the low values obtained for the Ensanche on green surfaces, the tree indicators present figures much closer to the average of urban continuums and also, for example, to the average of 14.4 trees per inhabitant of Spanish cities [18] or to tree for every three inhabitants recommended by the World Health Organization [19]. In the most unfavorable position is, as in the previous case, the area of La Milagrosa: 15 trees per hectare (against an average of 33.2) and 5 trees per hundred inhabitants (compared to an average of 21.7) followed closely by the Old Town. The situation differs in the area of Etxabakoitz, which had the highest values in green surfaces and is far from the best endowed areas. The best results have been obtained for the northern sector of Mendillorri, with the highest values in the two indicators, being this sector the one that presents

Fig.4. Green and wooded surfaces. Prepared by the authors on the basis of Pamplona City Council maps.



habitantes de las ciudades españolas [18] o, incluso, al árbol por cada tres habitantes que recomienda la Organización Mundial de la Salud [19]. En la posición más desventajosa, igual que en el caso anterior, el área de La Milagrosa, con 15 árboles por hectárea (frente a una media de 33,2) y 5 árboles por cada cien habitantes (frente a una media de 21,7) seguida muy de cerca por el Casco Viejo. Varía sensiblemente el área de Etxabakoitz, que presentaba los valores más elevados en superficies verdes y ahora se sitúa a mucha diferencia de las áreas mejor dotadas. Los mejores resultados se han obtenido en el sector norte de Mendillorri, con los valores más altos en los dos indicadores, siendo este sector el que mejor situación de conjunto (superficies verdes más arbolado) presenta.

Más allá de anotar el desequilibrio que mencionábamos, valorar los resultados implica utilizar valores de referencia con los que comparar las cifras obtenidas. Se trata de una labor delicada porque no existe consenso con respecto a la cifra o cantidad ideal de espacios verdes en la ciudad y porque, en sí misma, la utilización de evaluaciones métricas es una cuestión controvertida [5] y, en muchos casos, cuestionada [3],[20],[21]. Jim [22] es rotundamente claro al respecto cuando insta a los planificadores a que se ocupen más de la geometría de la red verde y de la calidad de la vegetación que de la superficie de los espacios verdes y el recuento de árboles. Zhan et al., [23] abordan de pleno la cuestión en un artículo cuyo título es sobradamente significativo: "Quality

the best overall situation (Green surfaces plus trees).

Beyond noting the imbalance aforementioned, assessing the results implies using reference values in order to compare the figures obtained. This is a delicate task because there is no consensus on the ideal number or amount of green space in the city. On the other hand, the use of metric assessments itself is a controversial issue [5] and, in many cases, contested [3],[20],[21]. Jim [22] is adamantly clear about this when he urges planners to deal more with the geometry of the green net and the quality of vegetation than with the surface of green spaces and tree counts. Zhan et al., [23] fully address the issue in an article whose title is very significant: "Quality over quantity: Contribution of urban green space to neighborhood satisfaction".

However, and this is what is advocated in this paper, this type of metrics are appropriate (rather necessary) in the context of urban planning and green infrastructure, when working at the city level and the objective is to define the guiding layout of the GI of the entire urban space and detect problematic or disadvantaged areas that will require special or priority attention in the design and implementation of the green network. In the case of Pamplona, the results obtained from green surface per inhabitant of the neighborhoods of La Milagrosa, the Ensanche and Old Town - between 2 and 4 m² - are very far, for example, from the 9m² recommended by the World Health Organization [19] or the 27.14 m²

over quantity: Contribution of urban green space to neighborhood satisfaction”.

Sin embargo, y esto es lo que se defiende en la presente comunicación, este tipo de métricas sí resultan apropiadas (más bien necesarias) en el contexto de la planificación urbana y de la infraestructura verde, cuando se trabaja a escala de ciudad y el objetivo es definir el trazado rector de la IV de todo el espacio urbano y detectar áreas problemáticas o desfavorecidas que requerirán una atención especial o prioritaria en el diseño e implementación de la red verde. En el caso de Pamplona, los resultados obtenidos de superficie verde por habitante de los barrios de La Milagrosa, el Ensanche y el Casco Viejo -entre 2 y 4 m²- quedan muy lejos, por ejemplo, de los 9m² que recomienda la Organización Mundial de la Salud [19] o de los 27.14 m² per cápita de las ciudades de Austria [3]. Las métricas combinadas de superficies verdes y del arbolado muestran que, si bien el Ensanche es deficiente en superficies verdes, alberga un número de árboles por habitante próximo a las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. Muy diferente es la situación de La Milagrosa, con valores muy deficientes tanto en superficies verdes como en arbolado. Se trata de cuestiones muy relevantes a la hora de evaluar los servicios ecosistémicos que proporcionan los elementos y espacios verdes de las diferentes áreas urbanas. Una diferencia de 7 árboles por cada 100 habitantes entre el Ensanche y La Milagrosa, tiene repercusiones medioambientales no desdeñables: teniendo en cuenta que un árbol absorbe una cantidad de CO₂ anual entre 15 y 30 Kg, dicha diferencia, el arbolado del Ensanche absorbe anualmente entre 25.250 Kg de CO₂ más que el arbolado de La Milagrosa.

Los resultados del análisis de accesibilidad a los espacios verdes completan la imagen diagnóstica de la situación. La figura 5 muestra las áreas de la ciudad que cuentan con un espacio verde en un radio de 200 metros. Se observa que la mayor parte del espacio urbano se encuentra dentro del área de influencia de una superficie verde situada a 200 metros o menos. Sin embargo, en el centro del plano, el color coral delimita una franja semicircular que queda fuera del área de influencia y que se corresponde con los sectores más compactos e infradotados, en lo que a las áreas verdes se refiere, de los barrios de La Milagrosa, el Ensanche y el Casco Viejo. Estos resultados, útiles para conocer qué parte de la población de Pamplona no cuenta con un espacio verde en la proximidad inmediata de sus viviendas (calidad de vida), son a su vez muy relevantes a la hora de identificar y delimitar los espacios críticos para el diseño de la infraestructura verde.

Los resultados combinados de los tres indicadores analizados muestran que La Milagrosa es el sector (continuo construido) que presenta la peor situación de todo el área estudiada: por su dotación de espacios verdes y arbolado y porque parte de esta zona

per capita of the cities of Austria [3]. The combined metrics of green and woodland surfaces show that, although the Ensanche is deficient in green surfaces, it contains a number of trees per inhabitant close to the recommendations of the World Health Organization.

Very different is the situation of La Milagrosa, with markedly deficient values in both green and wooded surfaces. These results are relevant when it comes to evaluating the ecosystem services provided by the elements and green spaces of different urban areas. A difference of 7 trees per 100 inhabitants between the Ensanche and La Milagrosa, has considerable environmental repercussions: taking into account that a tree absorbs an annual amount of CO₂ between 15 and 30 Kg, the extra woodland of the Expansion District absorbs annually between 25,250 Kg of CO₂ more than the woodland of La Milagrosa.

The results of the analysis of accessibility to green spaces complete the diagnostic picture of the situation. Figure 5 shows the areas of the city that have a green space within a radius of 200 meters. It is observed that most of the urban space is within the area of influence of a green surface located at 200 meters or less. However, in the center of the map, the coral color delimits a semicircular strip that is outside the area of influence and that corresponds to the most compact and underfunded sectors, as far as the green areas are concerned, of the neighborhoods of La Milagrosa, the Expansion District and the Old Town. These results, in addition to their usefulness to know which part of the population of Pamplona does not have a green space in the immediate proximity of their homes (quality of life), are also very relevant when it comes to identifying and delimiting the critical spaces for the design of green infrastructure.

The combined results of the three indicators



Fig. 5. Map of accessibility to green spaces. Prepared by the authors on the basis of Pamplona City Council maps.

queda fuera del área de influencia de una superficie verde a 200 m. de distancia.

El análisis morfológico de La Milagrosa muestra que mantiene un tejido urbano desordenado, resultado de haber sido construida con urgencia sobre las parcelas agrícolas existentes. La irregularidad del trazado resultante, unido a la topografía compleja sobre la que se asienta el barrio, origina una morfología de calles laberínticas y angostas (Fig.6.1), en general poco accesibles (Fig.6.4), y con escaso espacio público. Es el automóvil, además, el que se ha adueñado de la mayor parte de este poco espacio público (Fig.6.2) (ocupa el 75% de la superficie (EDUSI)), tanto en viales como en aparcamientos, dejando un mínimo espacio al peatón (Fig.6.3). Así, nos encontramos con perfiles de calles con una relación significativa entre la altura de la edificación y la anchura de la calle: edificaciones de planta baja más cuatro pisos en calles que no llegan a los 10 metros de ancho, con dos aparcamientos a cada lado y un carril de una dirección, lo que deja dos aceras a los lados de metro veinte para el peatón.

Este dominio del automóvil conlleva un elevado ruido ambiental debido al tráfico rodado, general en todo el barrio y en particular en la avenida de Zaragoza, por ser la salida y entrada sur a la ciudad y que divide el barrio en dos áreas mal conectadas entre sí.

Esta situación se ve agravada por la instalación de ascensores en edificios de viviendas que ocupan las vías públicas (Fig.6.5), o debido a mobiliario urbano mal situado (Fig.6.6), lo que da un resultado de espacios públicos de poca calidad urbana en general (Fig.6.7 y 6.8). Se observa además que tanto los nuevos espacios creados (plazas) (Fig.6.9) como intervenciones recientes de mejora urbana (Fig.6.11 y 6.12), no han tenido en cuenta el espacio verde, incluso los parques de reciente construcción se suceden pero sin solución de continuidad (Fig.6.10), característica imprescindible de la IVU.

Numeración de las fotografías, de 1 a 12, desde la esquina superior izquierda hacia la derecha y de arriba abajo. Véase en la figura 7 la ubicación de las imágenes dentro del plano urbano de la Milagrosa..

5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

Los resultados obtenidos nos han permitido poner de manifiesto y cuantificar las enormes diferencias que existen entre los distintos barrios de la ciudad en lo que se respecta a la dotación de arbolado y de espacios verdes. Los análisis prueban que Pamplona sí es una ciudad verde cuando tenemos en cuenta los grandes parques y superficies verdes del centro urbano, de los parques fluviales o de las áreas no urbanizables que orlan los barrios. Sin embargo, prueban también que los valores medios de los espacios verdes y arbolado para el conjunto de la ciudad están fuertemente influidos por los elevados valores de

analized show that La Milagrosa is the sector (continuous built) that presents the worst situation of the entire area studied: because of its endowment of green spaces and trees and because part of this area is outside the area of influence of a green surface 200 m. away.

The morphological analysis of La Milagrosa shows that it maintains a disordered urban fabric, the result of having been built urgently on the existing agricultural plots. The irregularity of the resulting layout, together with the complex topography on which the neighborhood sits, gives rise to a morphology of labyrinthine and narrow streets (Fig.6.1), generally inaccessible (Fig.6.4), and with little public space. It is also the car that has taken over most of this little public space (Fig.6.2) (it occupies 75% of the surface (EDUSI)), both on roads and in car parks, leaving minimal space for pedestrians (Fig.6.3). Thus, we find street profiles with a significant relationship between the height of the building and the width of the street: ground floor buildings plus four floors in streets that do not reach 10 meters wide, with two parking lots on each side and a one-way lane, which leaves two sidewalks on the sides of twenty meters for the pedestrian.

This domain of the car entails a high environmental noise due to the road traffic, general throughout the neighborhood and in particular in the avenue of Zaragoza, because it is the exit and south entrance to the city and that divides the neighborhood into two poorly connected areas.

This situation is aggravated by the installation of lifts in residential buildings occupying public roads (Fig.6.5), or due to poorly located urban furniture (Fig.6.6), which results in public spaces of poor urban quality in general (Fig.6.7 and 6.8). It is also observed that both the new spaces created (squares) (Fig.6.9) and recent interventions of urban improvement (Fig.6.11 and 6.12), have not taken into account the green space, even the recently built parks follow each other but without continuity (Fig.6.10), which is an essential feature of the UGI.

5. CONCLUSIONS AND PROPOSALS

The results obtained have allowed us to highlight and quantify the enormous differences that exist between the different neighborhoods of the city in terms of the provision of trees and green spaces. The analyses prove that Pamplona is a green city when taking into account the large parks and green surfaces of the urban center, the river parks or the non-developable areas that enclose the neighborhoods. However, they also prove that the average values of green spaces and trees for the city as a whole are strongly influenced by the high values of some areas. The urban continuums of the Old Town, Expansion District and La Milagrosa, which account for almost a fifth (2.04 km²) of the total area (10.9



Fig.6.
Photographs of La Milagrosa.
Prepared by the authors

algunas zonas. Los continuos urbanos del Casco Viejo, Ensanche y La Milagrosa, que suponen casi una quinta parte (2,04 Km²) de la superficie total (10,9 Km²), son claramente deficitarios.

La utilización del continuo urbano en lugar del barrio como unidad de análisis demuestra ser una estrategia idónea para establecer una jerarquía de áreas urbanas en función de su disponibilidad interna de espacios y elementos verdes. Cuando se utiliza el barrio como unidad de análisis, la existencia de grandes superficies verdes en áreas puntuales proporciona cifras medias para la unidad que enmascaran la presencia de piezas urbanas especialmente mal dotadas. Solamente aplicando los índices al continuo urbano se consigue evidenciar la situación. Esto resulta especialmente útil y necesario a la hora de diseñar la infraestructura verde urbana, ya que revela los sectores que por su especial compactación e impermeabilidad requerirán soluciones adaptadas para alcanzar umbrales mínimos de conectividad y permeabilidad (tanto del propio espacio como del suelo). Por otro lado, la lucha para reducir y mitigar los efectos del cambio climático exige una reducción de los consumos de energías no renovables. Incrementar la eficiencia energética de las ciudades se convierte en uno de los objetivos importantes de la mencionada lucha. Sin renunciar a las soluciones tecnológicas para lograr la eficiencia, hoy en día se reconoce que la vegetación es la gran aliada en esta batalla y que imitar a la naturaleza (Soluciones basadas en la Naturaleza o SbN) es una de las mejores estrategias y remedios.

En definitiva, los resultados ilustran la necesidad de estrategias de intervención específicas de ecologización de algunos sectores del área urbana y, muy especialmente, de La Milagrosa. Con este fin se realizan algunas propuestas que ilustran las posibilidades de "insertar" en el barrio de La Milagrosa espacios verdes que a) constituyan nodos vecinales de la futura

km²), are clearly in deficit.

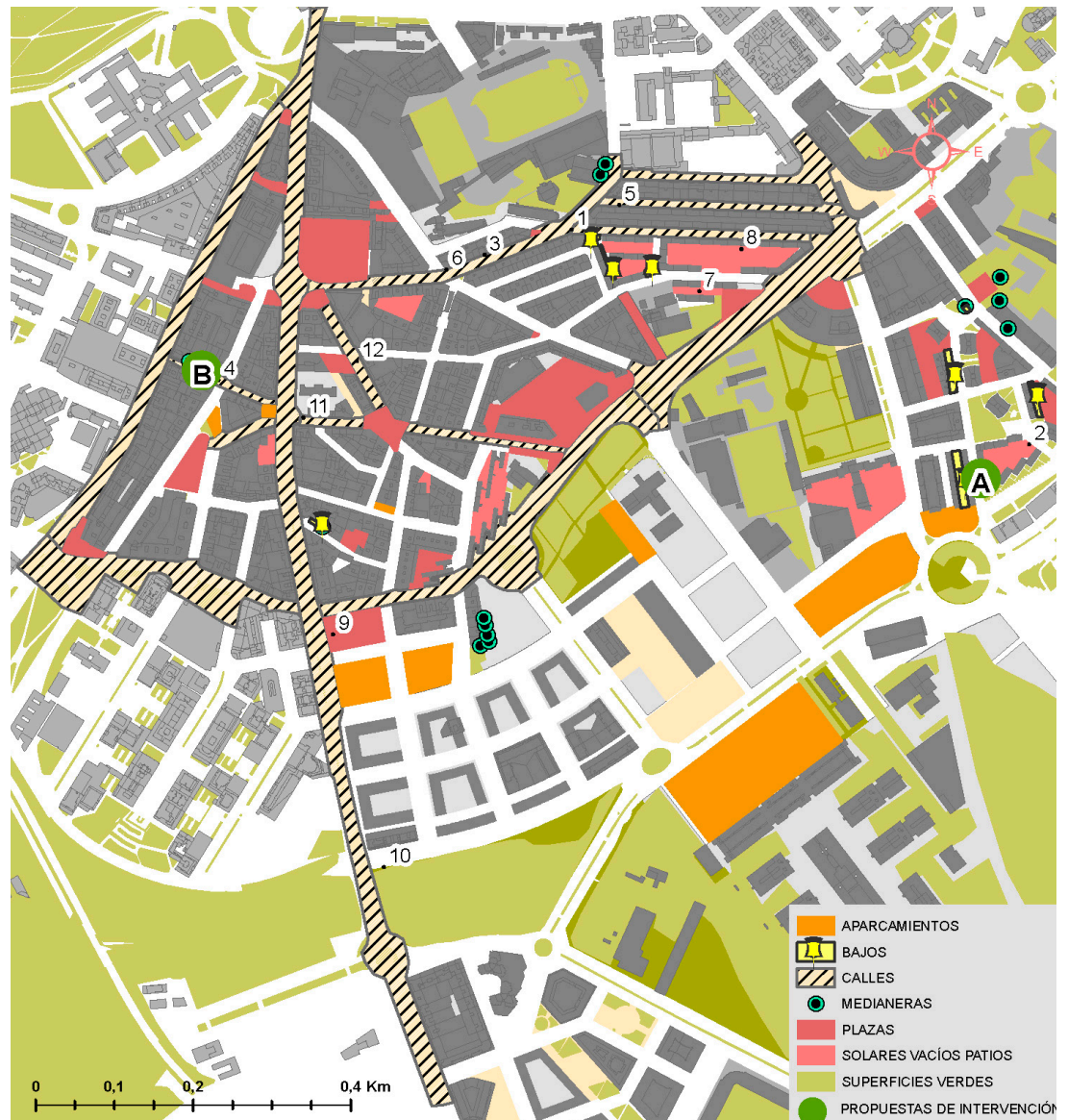
The use of the urban continuum instead of the neighborhood as a unit of analysis proves to be an ideal strategy to establish a hierarchy of urban areas according to their internal availability of spaces and green elements. When the neighborhood is used as a unit of analysis, the existence of large green surfaces in specific areas provides average figures for the unit that mask the presence of particularly poorly endowed urban pieces. Only by applying the indexes to the urban continuum is it possible to highlight the situation. This is especially useful and necessary when designing urban green infrastructure, since it reveals the sectors that will require adapted solutions to reach minimum thresholds of connectivity and permeability (both of the space itself and of the soil) due to their special compactness and impermeability. On the other hand, the fight to reduce and mitigate the effects of climate change requires a reduction in non-renewable energy consumption. Increasing the energy efficiency of cities becomes one of the important objectives of the aforementioned struggle. Without renouncing technological solutions to achieve efficiency, today being recognized that vegetation is the great ally in this battle and that imitating nature (Nature-Based Solutions or NbS) is one of the best strategies and remedies.

In short, the results illustrate the need for specific intervention strategies for greening some sectors of the urban area and, especially, La Milagrosa. To this end, some proposals are made that illustrate the possibilities of "inserting" in the neighborhood of La Milagrosa green spaces that a) constitute neighborhood nodes of the future UGI b) initiate a process of improving the energy efficiency of the sector and c) improve the quality of an urban space. An exhaustive field work has allowed to detect what we will call spaces of opportunity for renaturalization (Fig. 7) or to create what is known as SPUGS (Sma-

IVU b) inicien un proceso de mejora de eficiencia energética del sector y c) mejoren la calidad de un espacio urbano. Un exhaustivo trabajo de campo ha permitido detectar lo que denominaremos espacios de oportunidad para la renaturalización (Fig. 7) o para crear lo que se conoce como SPUGS (Small Public Urban Green Spaces). Estos espacios pueden contribuir a satisfacer esas restauraciones ecológicas necesarias. [24]. Se han clasificado de la siguiente manera (Fig. 7): 1. Plazas y espacios libres existentes a renaturalizar. 2. Solares vacíos (terrenos baldíos. [25]: Recuperación de patios interiores de manzana. 3. Aparcamientos: intervención en aparcamientos para su ecologización (SUDS). 4. Medianeras: posible implantación de fachadas vegetales. 5. Plantas bajas: posible eliminación de bajos para ceder superficie al espacio público y aliviar así la alta compacidad del barrio. 6. Calles: Intervenir en la vía pública para incrementar el verde y para crear una red que conecte espacial y funcionalmente todos estos SPUGS, siendo esta interconectividad una de las características principales de la IVU. El objetivo de esta investigación es realizar, por tanto, una propuesta integral

II Public Urban Green Spaces). These spaces can help satisfy these necessary ecological restorations [24]. They have been classified as follows (Fig. 7): 1. Existing squares and free spaces to be renaturalized. 2. Empty plots (vacant lots. [25]: Recovery of inner courtyards inside blocks. 3. Car parks: remove car parks or intervene in them for greening (SuDS Sustainable Drainage Systems). 4. Common walls: possible implantation of vegetal facades. 5. Ground floors: possible elimination to transfer surface to the public space and thus alleviate the high compactness of the neighborhood. 6. Streets: Intervene in the public road to increase the green and to create a network that connects spatially and functionally all these SPUGS, being this interconnectivity one of the main characteristics of the UGI. The objective of this research is to make, therefore, a comprehensive proposal of renaturalization of the neighborhood in which the proposals are addressed from at least three lines of action: ecological, environmental and social. The proposals in the following illustration (Fig. 8) pretend to be, exclusively and due to space and scope constraints of this paper, a small sample that

Fig. 7. Map of spaces of opportunity of La Milagrosa. Prepared by the authors on the basis of maps provided by Pamplona City Council. The numbers (1 to 9 correspond to the location of the photographs in figure 6; the letters A and B correspond to the renaturalisation proposals in figure 8).



(carácter comprensivo) de renaturalización del barrio en la que se aborden las propuestas desde, al menos, tres ejes de actuación: ecológico, ambiental y social. Las propuestas que se exponen en la figura siguiente (Fig. 8) pretenden ser, exclusivamente y por evidentes razones de espacio y alcance del presente trabajo, una pequeña muestra que ilustre uno de enfoques posibles de la renaturalización mediante SbN desde la Arquitectura como disciplina.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo ha recibido el apoyo y la financiación del grupo de investigación EKOPOL, beneficiado en 2019 con el reconocimiento y subvención de la Consejería de Universidades e Investigación del Gobierno Vasco, con el proyecto "Iraunkortasunerako bideak" - "Transición Ecosocial para la Sostenibilidad" (IT1365-19)

illustrates one of possible approaches to the renaturalization by SbN from architecture as a discipline.

The following figure (Fig. 8) includes two proposals for the renaturalization of two spaces of La Milagrosa through the use of Nature-based Solutions. On the right, the point identified in Fig. 7 with the letter A; On the left is the point identified with the letter B.

ACKNOWLEDGMENTS

This work has received support and funding from the EKOPOL research group, which in 2019 received recognition and a grant from the Basque Government's Department of Universities and Research, with the project "Iraunkortasunerako bideak" - "Transición Ecosocial para la Sostenibilidad" (IT1365-19).

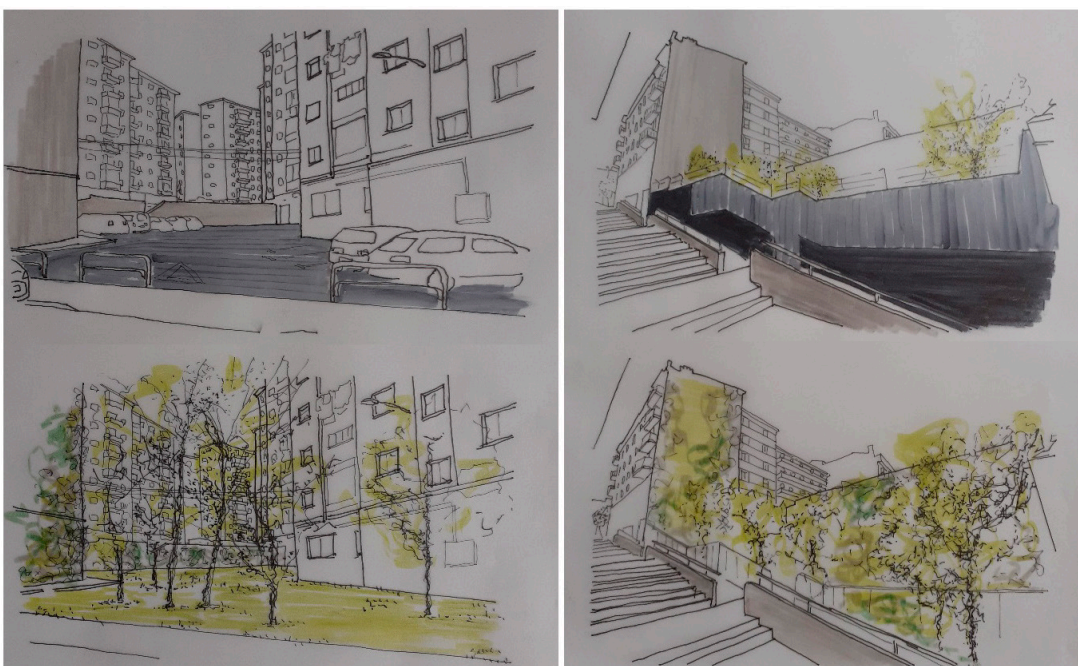


Fig.8.

Proposals for renaturalization in two sectors of La Milagrosa. The following figure (Fig. 8) includes two proposals for the renaturalization of two spaces of La Milagrosa through the use of Nature-based Solutions. On the right, the point identified in Fig. 7 with the letter A; On the left is the point identified with the letter B.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Xing, Y., Jones, P., & Donnison, I. (2017). Characterisation of nature-based solutions for the built environment. *Sustainability (Switzerland)*, 9(1), 149. <http://dx.doi.org/10.3390/su9010149>.
- [2] Verdaguer, C. y Velázquez, I. (2012). Pasos hacia la regeneración urbana ecológica: Más allá de la eficiencia energética. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales (CyTET)*, 171, 97–112.
- [3] Badiu, D.L., et al. (2016). Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities' sustainability goals? Romania as a case study. *Ecological Indicators*, pp. 53-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.044>
- [4] Comisión Europea (2020). Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí a 2030 Reintegrar la naturaleza en nuestras vidas. COM (2020) 380 final.
- [5] Haaland, C., van den Bosch, C.K. (2015). Challenges and strategies for urban green-space planning in cities undergoing densification: A review. *Urban Forestry and Urban Greening* 14(4), 760-771. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2015.07.009>.
- [6] McPhearson, T., et al. (2016). Advancing Urban Ecology toward a Science of Cities. *BioScience*, 66(3) 198-212. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw002>
- [7] Lähde, E., Di Marino, M. (2019). Multidisciplinary collaboration and understanding of green infrastructure Results from the cities of Tampere, Vantaa and Jyväskylä (Finland). *Urban Forestry and Urban Greening* 40, 63-72. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.03.012>.
- [8] Dorst, H., van der Jagt, A., Raven, R., Runhaar, H. (2019). Urban greening through nature-based solutions – Key characteristics of an emerging concept. *Sustainable Cities and Society* 49, 101620. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101620>.
- [9] Comisión Europea (2013). Comunicación sobre “Infraestructura verde: mejora del capital natural de Europa”, COM (2013) 249 final, Bruselas, 6.5.2013.
- [10] Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz (Centro de Estudios Ambientales). (2014). La Infraestructura verde Urbana de Vitoria-Gasteiz. Documento de Propuesta.
- [11] Lennon, M. (2015). Explaining the currency of novel policy concepts: learning from green infrastructure planning. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 33(5), 1039-1057. <http://dx.doi.org/10.3828/tpr.2014.35>
- [12] Wang, J. y Banzhaf, E. (2018). Towards a better understanding of Green Infrastructure: A critical review. *Ecological Indicators*, 85, 758–772. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.018>
- [13] Kabisch, N., Strohbach, M., Haase, D., Kronenberg, J. (2016). Urban green space availability in European cities. *Ecological Indicators*, 70, 586-596. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.029>
- [14] White, M.R., Langenheim, N. (2018). A spatio-temporal decision support system for designing with street trees. *International Journal of E-Planning Research* 7(4), 1-24. <http://dx.doi.org/10.4018/IJEPR.2018100101>.
- [15] Locke, D. H et al. (2013) "Applications of Urban Tree Canopy Assessment and Prioritization Tools: Supporting Collaborative Decision Making to Achieve Urban Sustainability Goals," *Cities and the Environment (CATE)*: 6(1), Article 7. Available at: <http://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol6/iss1/7>
- [16] Hernández, a. et al. (1996). *Parámetros dotacionales en suelo urbano*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente
- [17] Rossi, a. (1982). *La arquitectura de la ciudad*. Barcelona, Gustavo Gili.
- [18] ASEJA Asociación Española de Parques y Jardines Públicos. (2017). *Análisis de la conservación de la infraestructura verde en España 2015*. Madrid: ASEJA.
- [19] World Health Organization (WHO). (2012). *Health Indicators of Sustainable Cities in the Context of the Rio+20 UN Conference on Sustainable Development*; WHO: Geneva, Switzerland.
- [20] Russo, A., Cirella, G.T. (2018). Modern compact cities: How much greenery do we need? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2180. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15102180>.
- [21] Szulciewska, B., et al. (2014). How much green is needed for a vital neighbourhood? In search for empirical evidence. *Land Use Policy*, 38, pp. 330-345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.11.006>.
- [22] Jim, C.Y. (2004). Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities. *Cities*, 21, (4), 311–320. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2004.04.004>.
- [23] Zhang, Y., Van den Berg, A.E., Van Dijk, T., Weitkamp, G. (2017). Quality over quantity: Contribution of urban green space to neighborhood satisfaction. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 535. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14050535>
- [24] Peschardt, K.K., Schipperijn, J., Stigsdotter, U.K. (2012). Use of Small Public Urban Green Spaces (SPUG). *Urban Forestry and Urban Greening* 11(3), 235-244. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2012.04.002>
- [25] Anguluri, R., Narayanan, P. (2017). Role of green space in urban planning: Outlook towards smart cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 25, 58-65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ufug.2017.04.007>.

A multicriteria scheme for identifying potential areas for Sustainable Urban Drainage Systems in urban and rural areas

Metodología multicriterio para la implementación de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible en entornos urbanos y rurales

Suárez-Inclán, A.¹, Rocés-García, J.^{1,2}, Allende-Prieto, C.^{1,3}, Rey-Mahía, C.¹, Sañudo-Fontaneda, L.^{1,2}

ABSTRACT

Cities are being affected more intensely and closely in time by the consequences of climate change, these being very varied, including those related to the increased probability of suffering strong episodes of flooding and diffuse pollution. In addition, in recent decades there has been an increase of urban areas, the problem is that this urban development has not been carried out from a point of view that takes into account sustainability in the management of runoff in cities. This has caused an alteration in today's cities of the natural hydrological cycle that existed prior to urban development, mainly due to the large amount of built waterproof areas. This effect, alongside the inefficiency of conventional urban drainage infrastructures, modifies quantitatively and qualitatively the natural flows of the hydrological cycle and, consequently, generates increasing events of flooding in urban environments, deteriorating water quality and causing other negative environmental, social and economic consequences.

Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) are one of the most widely used techniques to improve urban resilience. Their application allows urban areas to be successfully adapted to current and future climate scenarios and unpredictable changes. However, little research has been carried out on the development of transversal methodologies that allow the implementation of these techniques from an integrative urban planning angle. Likewise, the Water Sensitive Urban Design (WSUD) philosophy, which serves as the framework for the design pillars of the SUDS, is not implemented on a global scale throughout the city. The objective of this work is to develop a multicriteria methodology that collects the engineering parameters for controlling the volume and contamination of runoff, as well as, the social and biodiversity elements that contributes towards a holistic urban planning for urban water management. The methodology is being implemented to the city of Gijón (Spain) with a population of nearly three hundred thousand inhabitants living in an area of approximately 200 km², divided in consolidated urban areas and rural. The results include a multiscale identification of priority urban and rural areas for SUDS implementation. According functional, environmental, social and economic aspects. In addition, the results allowed the selection of the most suitable SUDS types for the potential areas identified, in order to help increase the urban resilience.

Key Words: biourbanism, water sensitive urban design, nature-based solutions, spatial analysis, land planning.

(1) Civil, Environmental and Geomatic Engineering Research Unit (CEGE), Institute of Natural Resources and Territorial Planning (INDUROT), University of Oviedo

(2) Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación, Universidad de Oviedo.

(3) Dpto. de Explotación y Prospección de Minas, Universidad de Oviedo.

1. INTRODUCCIÓN

Las áreas urbanas han sufrido un gran crecimiento, actualmente el 55 por ciento de la población mundial vive en ellas, una proporción que llegará a 68 por ciento para el año 2050 [1]. En España, en las grandes áreas urbanas de más de 50.000 habitantes habita el 68% de la población española [2]. Los actuales niveles de población y urbanización, la proyección de crecimiento para los próximos años y los efectos del cambio climático están convergiendo para desafiar la resiliencia de las ciudades [3].

La gestión del agua pluvial representa un aspecto crucial para la mejora de la resiliencia urbana debido al incremento de los eventos de lluvia extremos y los efectos adversos en el medio ambiente, economía y sociedad de las áreas urbanas [4]. Como resultado del cambio climático, la frecuencia e intensidad de los eventos extremos de tormenta se han incrementado [5]. Por otro lado, el rápido desarrollo urbano conlleva una alteración del ciclo hidrológico natural a consecuencia, principalmente, del incremento de las superficies impermeables [6], [8]. La combinación de estos dos factores genera unos volúmenes excesivos de escorrentía superficial, lo que constituye una complicación para los sistemas de drenaje convencionales [7]. Por lo tanto, uno de los principales problemas del desarrollo urbano pasado es que se ha realizado sin tener en cuenta la sostenibilidad en la gestión de agua pluvial que precipita en las ciudades. Así, los sistemas de drenaje convencional buscan desaguar lo antes posible las escorrentías generadas por un evento de lluvia hacia el medio receptor [9]. Sin embargo, cuando ocurre un evento de lluvia con una intensidad alta, generalmente, ocurre un desequilibrio entre la capacidad del sistema de drenaje convencional y la cantidad de escorrentía superficial que se genera, lo que provoca un aumento del riesgo de sufrir inundaciones, especialmente en las grandes áreas urbanas con una densidad de población alta [10]. Además, el aumento de la cantidad de superficie impermeable y la intensidad de los eventos de lluvia deteriora la calidad de las escorrentías superficiales y consecuentemente una degradación en la calidad del agua del medio receptor, especialmente durante el primer lavado [11], [12]. En España existe una problemática añadida en el sistema convencional de drenaje, el cual alcanza vidas útiles por encima de su duración de diseño, incluyendo una gran mayoría de sistemas combinados para la gestión de las aguas de lluvia y de saneamiento [13], [14]. Las deficiencias en el sistema de drenaje convencional generan una serie de impactos negativos sobre la seguridad y la salud de la población [15].

En este contexto, a lo largo de las últimas décadas han surgido un conjunto de marcos y directivas legales, guías, manuales e informes que buscan aumentar la resiliencia urbana [16], [18]. Las inundaciones pluviales se han convertido en un gran riesgo para la resiliencia urbana [19] y, consecuentemente, la

1. INTRODUCCIÓN

Nowadays, 55 per cent of the world's population live in urban areas, a proportion that is expected to increase to 68 per cent by 2050 [1]. In Spain, large urban areas with more than 50,000 inhabitants are home to 68% of the Spanish population [2]. The current levels of population and urbanization, the projected increase over the coming years, and the climate change are converging to challenge cities' resilience [3].

Stormwater management represent a crucial component for the enhancement of urban resilience due to the rising unpredictability of storm events and their adverse impacts on the environment, economy and society of urban areas [4]. As result of climate change, the frequency and intensity of extreme rainfall events are expected to increase [5]. Also, as the urban areas grows and more impervious surface is developed, hydrologic functions of the natural water cycle are altered [6], [8]. The combination of these two factors it contributes to creates excessive stormwater runoff and it constitutes a complication to conventional stormwater management systems [7]. Therefore, one of the main problems of past urban development is that it has been carried out without taking into account sustainability in the management of stormwater runoff in cities. The traditional urban stormwater management is mainly a single-objective oriented design with it has to evacuate runoff generated by a rainfall event to the receiving environment as quickly as possible [9]. However, when a high intensity rainfall event occurs, there is usually an imbalance between the capacity of the conventional drainage system and the amount of surface runoff generated, leading to an increased risk of flooding, especially in large urban areas with a high population density [10]. In addition, the increase in the amount of impervious surface and the intensity of rainfall events deteriorates the quality of surface runoff and consequently a degradation in the water quality of the receiving environment, especially during the first flushing [11], [12]. Deteriorating of conventional drainage system is a serious problem in Spain, useful lives beyond its design life, including a large majority of combined systems for rainwater and sewage management [13], [14]. Drainage malfunctions cause serious issues that impact public safety and health [15].

In this context, over recent decades, a complex legislative framework of directives, policies, communications and reports serve to address the range of pressures facing urban and rural areas natural environment and improve the urban resilience [16], [18]. In recent years, urban pluvialflooding is the primary risk to urban resilience [19]. Consequently, the transition to a new paradigm in urban water management is more necessary than ever [20]. There are a number of frameworks such as Water Sensitive Urban Design (WSUD), the Adaptive Water Resources

transición hacia un nuevo paradigma en la gestión del agua urbana es más necesario que nunca [20]. Existen una serie de marcos de referencia como el Diseño Sensible al Agua (DUSA), el Manual de Gestión Adaptativa de los Recursos Hídricos (MGARH) o la Gestión Integrada del Agua Urbana (GIAU) que buscan implementar este nuevo paradigma, pero tienden a ser ambiguos, lo que dificulta su implementación por parte de los organismos con competencias en la gestión del agua urbana [21], [24]. Las soluciones basadas en la naturaleza (Nature-Based Solutions - NBS) son clave para la implementación de estas filosofías, resaltando los Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) como técnicas centrales para la gestión del agua [16].

Los SUDS son un conjunto de técnicas que surgieron hace un par de décadas con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático, disminuir la alteración del ciclo hidrológico natural de las ciudades y las deficiencias del sistema de drenaje convencional. Se definen como un conjunto de técnicas enmarcadas en una filosofía de desarrollo sostenible que buscan laminar el agua de lluvia y retener los contaminantes presentes en la escorrentía superficial. Además, sirven para preservar las condiciones naturales de los lugares donde se implantan permitiendo revalorizar y recuperar áreas urbanas mejorando su desarrollo estético [25].

Este estudio tiene el objetivo de reducir la problemática de la gestión del agua en las ciudades mediante el desarrollo de un marco integral de Análisis de Decisiones Multicriterio (MCDA) a todas las escalas de la ciudad, que considere los cuatro pilares del diseño de SUDS (cantidad de agua, calidad del agua, amenidad y biodiversidad) maximizando los beneficios y sinergias de estas Soluciones Basadas en la Naturaleza [5]. El esquema propuesto se está aplicando en un caso de estudio específico en la ciudad de Gijón, el cual presenta problemas de episodios de alta contaminación de sus aguas, así como a un incremento de los problemas provocados por inundaciones en su infraestructura urbana.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología multicriterio para la selección de SUDS en áreas urbanas y rurales para el territorio nacional de España, ha sido desarrollada en base a la revisión bibliográfica de las diferentes técnicas de análisis multicriterio utilizadas para la toma de decisiones en urbanismo y ordenación del territorio, gestión del agua, DUSA y SUDS [23], [26]. En concreto, es el resultado de la recopilación y análisis de otras metodologías de diferentes grupos de investigación con una temática similar [27],[28] junto con manuales y guías internacionales para la implementación de SUDS en áreas urbanas [29], [30].

La metodología propuesta está enfocada para áreas urbanas (con al menos un municipio de 50.000 habi-

Management (AWM or AWRM) or Integrated Urban Resource Management (IUWM or IWM), which seek to implement this new paradigm, but tend to be ambiguous, which makes it difficult for urban water management agencies to implement them [21], [24]. Nature-Based Solutions (NBS) are key to the implementation of these philosophies, highlighting Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) as central techniques for stormwater management [16].

SUDS are a group of techniques that have emerged a couple of decades ago with the objective of mitigating the effects of climate change, reducing the alteration of the natural hydrological cycle of cities and the inefficiencies of the conventional drainage system. They can be defined as a set of techniques framed within a philosophy of sustainable development that seek to laminate rainwater and retain pollutants present in surface runoff. They also serve to preserve the natural conditions of the places where they are implemented, allowing the revaluation and recovery of urban areas and improving their aesthetic development [25].

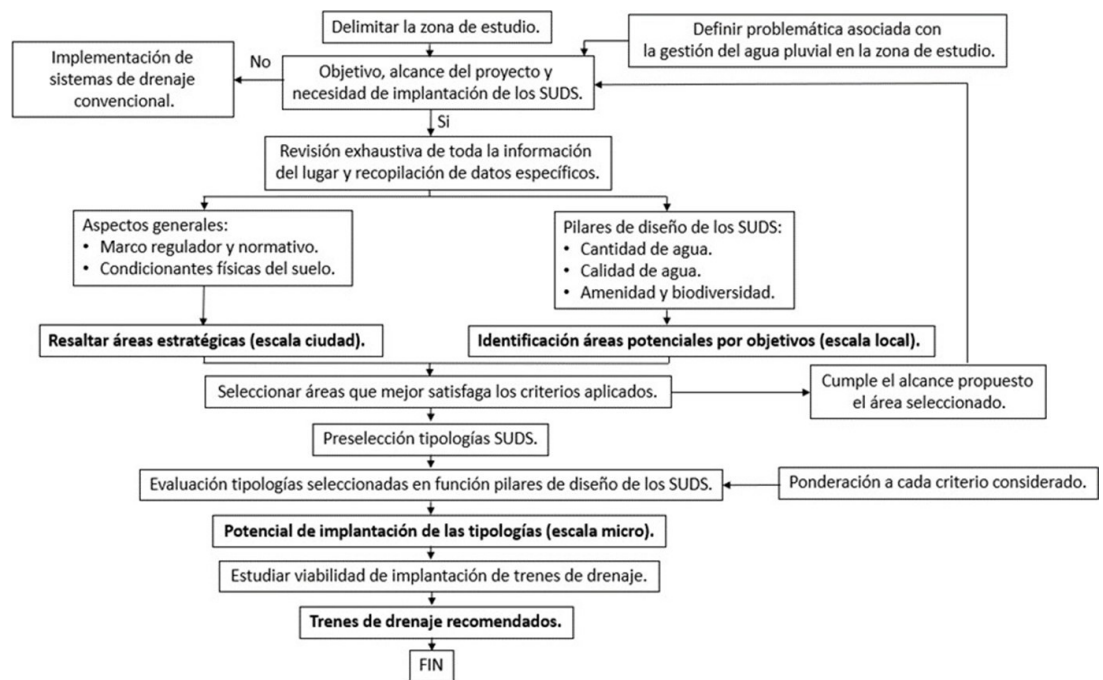
This study has the objective of reducing water management problems in cities by developing a comprehensive framework for Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) at all city scales, which considers the four pillars of SUDS design (water quantity, water quality, amenity and biodiversity), maximising the benefits and synergies of these Nature-Based Solutions. [5]. The proposed scheme is being applied in a specific case study in the city of Gijón. This case study presents problems of high water pollution episodes, as well as increased flooding problems in its urban infrastructure.

2. MATERIALS AND METHODS

The multi-criteria methodology for the selection of SUDS in urban and rural areas for the national territory of Spain has been developed based on the bibliographical review of the different multi-criteria analysis techniques used for decision making in urban and land use planning, water management, DUSA and SUDS [23], [26]. Specifically, it is the result of the compilation and analysis of other methodologies from different research groups with a similar theme [27], [28], together with international manuals and guidelines for the implementation of SUDS in urban areas [29], [30].

The proposed methodology is centred on urban areas (with at least one municipality of 50,000 inhabitants) and its application is focused on various scales (global or city, local or district and block or micro). The following figure (Figure 1) shows the general scheme of the proposed methodology. The management and processing of all the information for the development of the methodology is performed with digital tools for territorial information, urban planning, land use and water management. In the

Fig. 1. Diagram of the multi-criteria methodology for the implementation of SUDS in urban and rural areas.



tantes) y su aplicación está enfocada a varias escalas (global o ciudad, local o barrio y manzana o micro). En la siguiente figura (Fig. 1) se muestra el esquema general de la metodología propuesta. La gestión y tratamiento de toda la información para el desarrollo de la metodología se realiza con herramientas digitales de información territorial, planificación urbana, usos del suelo y gestión del agua. El caso de estudio se ha llevado a cabo mediante el Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto QGIS.

El primer paso de este proceso consiste en delimitar la zona de estudio y sus divisiones a escala de ciudad o global. Las divisiones establecidas son los barrios o parroquias del área urbana (escala local). Por último, se plantean las áreas potenciales identificadas (escala micro) con los análisis previos. En esta fase inicial, también se requiere establecer los objetivos y alcance específicos del estudio. Un aspecto clave es analizar la necesidad de implantación de los SUDS y para ello, es necesario definir con detalle la problemática asociada con la gestión del agua en la zona de estudio. Esta problemática se define determinando la vulnerabilidad a sufrir inundaciones pluviales, fluviales y costeras. Otro aspecto clave en esta fase es realizar reuniones con las partes interesadas en el proyecto de la zona de estudio.

Una vez desarrollada la etapa inicial, el siguiente paso consiste en determinar las áreas estratégicas que presentan potencial de implantación (con un análisis en la escala global). Este proceso de estimación se desarrolla, principalmente, en base a la información obtenida mediante el análisis de los condicionantes físicos y legales del área de estudio (usos de suelo, marco regulador y normativo y principales restricciones de diseño para los SUDS). El análisis del marco regulador y normativo se basa en el estudio de la es-

case study, it has been carried out using the free and open source Geographic Information System (GIS) software QGIS.

The first step in this process is to delimit the study area and its divisions, at the city or global scale. The divisions established are the districts of the urban area (local scale). Finally, the potential areas that have been identified (micro scale) with the previous analyses are proposed. In this initial phase, it is also necessary to establish the specific objectives and scope of the study. A crucial aspect is to analyse the need for the implementation of SUDS. To do this, it is necessary to define in detail the problems associated with stormwater management in the study area. These problems are established by determining the vulnerability to pluvial, fluvial and coastal flooding. Another important aspect of this phase is to organise meetings with the stakeholders of the project in the study area.

Once the initial stage has been developed, the next step consists of determining the strategic areas with potential for implementation (with an analysis on a global scale). This estimation process is developed mainly based on the information obtained through the analysis of the physical and legal conditions of the study area (land use, regulatory and normative framework and main design restrictions for SUDS). The analysis of the regulatory and normative framework is based on the study of the urban structure of the study area. In particular, it is based on the General Urban Development Plan of the Municipality [31] and the open access data from the National Geographic Information Centre of the Ministry of Transport, Mobility and the Urban Agenda. With this information, an initial classification is generated in those areas where the implementation of SUDS will be unviable (undevelopable land) and, on the

estructura urbanística de la zona de estudio. En concreto se basa en el Plan General de Ordenación Urbana del Municipio [31] y de los datos de libre acceso del Centro Nacional de Información Geográfica del Ministerio de Transportes Movilidad y Agenda Urbana. A partir de esta información se genera una primera clasificación en aquellas áreas donde no será viable la implantación de los SUDS (suelo no urbanizable) y por el contrario las zonas donde a priori sería posible la introducción de estas técnicas de drenaje (suelos urbanizables). Con la finalidad, de llevar a cabo un estudio detallado de los usos de suelo se aconseja realizar una clasificación siguiendo la nomenclatura del proyecto europeo CORINE (Coordination of Information of the Environment) Land Cover.

El siguiente paso consiste en identificar los espacios públicos y privados del municipio mediante los datos de libre acceso de la Sede Electrónica de Catastro del Ministerio de Hacienda. La identificación de los espacios públicos, tanto en el área urbana como en la zona rural, adquiere una vital importancia ya que la metodología propuesta está orientada a la implantación de los SUDS en dichas zonas. Consecuentemente, se requiere realizar una clasificación de estos espacios públicos con más detalle (vías de comunicación y su tipología, zonas verdes, corredores verde-azules, aparcamientos).

La tercera fase se basa en la identificación de las principales restricciones de diseño. El tipo de suelo y las condiciones geológicas y geotécnicas influyen directamente en la elección del tipo de SUDS y su diseño, así como en su ubicación más adecuada. Por un lado, es clave la identificación de zonas con valores de pendientes que puedan limitar la implantación de SUDS (> 10%) [29], [30]. La representación de los valores de pendiente de terreno se puede realizar a partir de la cartografía 3D o Modelos Digitales del Terreno (MDT) del Centro Nacional de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (CNIG) [32]. Otro parámetro de estudio importante es la capacidad de infiltración del terreno. Para ello se aconseja analizar los principales materiales de los que está compuesto el suelo a partir de los datos de la web del Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Posteriormente, se puede correlacionar la capacidad de infiltración de un determinado suelo característico con los valores típicos de distintas formaciones de suelos y rellenos [33].

other hand, those areas where the introduction of these drainage techniques would be possible a priori (developable land). In order to carry out a detailed study of land uses, it is advisable to carry out a classification following the nomenclature of the European CORINE (Coordination of Information of the Environment) Land Cover project.

The next step is to identify the public and private spaces of the municipality, using the open access data of the Electronic Cadastral Office of the Ministry of Finance. The identification of public spaces, both in urban and rural areas, is of vital importance, as the proposed methodology is oriented towards the introduction of SUDS in these areas. Consequently, a more detailed classification of these public spaces is required (roads and their typology, green areas, blue-green corridors, parking lot).

The third phase is focused on the identification of the main design restrictions that the study area may present when introducing SUDS. This phase will be highly conditioned by the information available on the geomorphological variables of the study area. The type of soil and the geological and geotechnical conditions directly influence the choice of the type of SUDS and their design, as well as their most suitable location. It is important to identify areas with slope values that could limit the implementation of SUDS (> 10 %) [29], [30]. The representation of terrain slope values can be made from 3D mapping or Digital Terrain Models (DTMs) or freely available data from the National Download Centre of the National Geographic Institute (CNIGD) [32]. Another important parameter to study is the infiltration capacity of the soil. For this purpose, it is advisable to analyse the main materials of which the soil is composed, based on data from the website of the Spanish Geological and Mining Institute (IGME). Then, the infiltration capacity of a specific soil can be correlated with the typical values of different soil formations and fills [33].

The viability of infiltration of SUDS into the ground can be considered from a hydraulic conductivity greater than 10⁻⁶ cm/s, but it is necessary to take into account other factors such as the proximity of the groundwater level, the grade of contaminants in the soil and the proximity to surrounding infrastructures [11].

Se puede considerar la viabilidad de infiltración de

• Groundwater separation should be at least 1 m

Permeability coefficient (cm/s)	Infiltration viability	Soil type
$k > 10^{-2}$	Highly permeable	Gravels
$10^{-2} > k > 10^{-4}$	Good	Sands and sand/gravel mixtures
$10^{-4} > k > 10^{-6}$	Bad	Silt and mixtures of sand, silt and clays
$k < 10^{-6}$	Waterproof	Clay

Table 1. Estimation of the permeability coefficient according to soil type [33].

los SUDS al terreno a partir de una conductividad hidráulica mayor de 10⁻⁶ cm/s, pero es necesario tener en cuenta otros factores como son: la proximidad del nivel freático, el grado de contaminantes del suelo y la proximidad a infraestructuras adyacentes [11].

- Como norma general el limitante geométrico del nivel freático hasta la subbase del sistema en el que se desea permitir la infiltración al terreno ha de ser como mínimo de un 1 m [29].

- La proximidad a los cimientos de infraestructuras adyacentes varía en función del sistema que se pretenda implantar. Cuando se proponga la infiltración al terreno y esta distancia sea menor de 5 m será necesario estudiar con detalle las especificaciones técnicas del sistema [29].

- Se deben realizar verificaciones para confirmar que los suelos debajo de cualquier componente de infiltración propuesto sean adecuados para proporcionar una protección adecuada a las aguas subterráneas [30].

Seguidamente, se puede comenzar un análisis más detallado (escala local), en el que se identifican las áreas potenciales teniendo en cuenta los cuatro pilares de diseño de los SUDS: cantidad de agua, calidad de agua, amenidad y biodiversidad. Para cada una de las unidades de análisis consideradas, se valora el potencial de implementación de SUDS en función de los factores relacionados con cada objetivo.

Para ello, se requiere analizar estos objetivos y sus criterios asociados. Las técnicas de análisis multicriterio (MCDA), permiten seleccionar entre distintas alternativas en función una serie de criterios complejos. Una de estas herramientas es el AHP (Proceso Analítico Jerárquico) [34], el cual es un método aditivo lineal basado en la comparación por pares. Los resultados de este proceso son matrices de preferencias, una para cada criterio, que describen el desempeño relativo de cada alternativa en función de ese criterio específico. Para la ponderación se requiere aplicar el mismo procedimiento de comparación por pares a los criterios. Los principales criterios a tener en cuenta para identificar las áreas potenciales en función del objetivo de cantidad de agua se exponen a continuación:

- Áreas vulnerables de sufrir inundaciones mediante la información obtenida en el análisis previo (escala ciudad).

- Volumen afluente o de tratamiento, para lo que se requiere desarrollar un previo diseño hidráulico e hidrológico. El diseño propuesto en esta metodología se basa en obtener el volumen de tratamiento para el control de calidad de agua [35].

- Red de saneamiento actual de la zona de estudio y su capacidad.

from the sub-base of the system [29].

- The proximity to the foundations of surrounding infrastructure depends on the system to be implemented. Where infiltration into the ground is proposed and the distance is less than 5 m, it should be necessary to study the technical specifications of the system in detail [29].

- Should be made verifications to confirm that the soils from under any proposed infiltration component are adequate to provide adequate protection to groundwater [30].

The general analysis of the main restrictions that may occur in the study area, allows to have a vision of the units of analysis considered (districts) in which they may have greater limitations or facilities for implementation. Then, a more detailed analysis (local scale) can be initiated, in which the potential areas are identified taking into account the four pillars of SUDS design: water quantity, water quality, amenity and biodiversity. For each of the units of analysis considered, the potential for SUDS implementation is evaluated according to the factors related to each objective.

Therefore, it is necessary to analyse these objectives and their associated criteria. Multi-criteria analysis (MCDA) techniques allow alternatives to be selected on the basis of a number of complex criteria. One such tool is the AHP (Analytical Hierarchical Process) [34], which is a linear additive method based on pairwise comparison. The results of this process are preference matrices, one for each criterion, which describe the relative performance of each alternative according to that specific criterion. Weighting requires that the same pairwise comparison procedure be applied to the criteria. The main factors to be taken into account to identify potential areas according to the water quantity objective are set out below:

- Areas with flooding risk, using the information obtained in the previous analysis (city scale).

- Influent or treatment volume, which requires the development of a previous hydraulic and hydrological design. The design proposed in this methodology is based on obtaining the treatment volume for water quality control [12].

- Current sewerage system in the study area and its capacity.

For the prioritisation of the water quality objective, the main criteria used are the following:

- Relationship between land uses and water quality.

- Qualitative analysis of water bodies, i.e. concentration of pollutants (BOD, TSS, TN, TF).

Para la priorización del objetivo de calidad de agua, los principales criterios utilizados son los siguientes:

- Relación entre los usos de suelo y calidad del agua.
- Análisis cualitativo de los cuerpos de agua, es decir la concentración de contaminantes (DBO, SST, NT, FT).
- Zonas con mayor densidad de población tienen una mayor contaminación difusa.

Por último, para los objetivos de amenidad y biodiversidad se aconseja analizar los siguientes factores:

- Áreas que presentan un mayor deterioro y van a sufrir un reordenamiento urbano o nuevos procesos de urbanización.
- Superficies de parques, plazas, zonas y corredores verdes.

Por último, el análisis a escala micro se basa en la selección de las tipologías de SUDS más adecuadas para su implementación en las zonas potenciales identificadas con anterioridad. El primer paso de esta fase consiste en una preselección de los SUDS que pueden conseguir reducir y mejorar la calidad del volumen efluente de escorrentías superficiales que se localizan en la zona de la manera más eficiente posible. Seguidamente, se estima la relevancia que posee cada uno de estos sistemas en función de los siguientes factores: volumen de tratamiento que es capaz de captar, tratar y evacuar, grado de eliminación de contaminantes, amenidad, biodiversidad, mantenimiento y económicos) [5]. Finalmente, como las funciones principales de las técnicas de SUDS difieren en función del sistema, se propone analizar los condicionantes del área potencial identificada y estudiar la combinación de técnicas formando un esquema secuencial multifuncional denominado tren de drenaje.

3. RESULTADOS

La metodología propuesta a escala global se ha aplicado en un caso de estudio específico en la ciudad de Gijón con el objetivo de realizar una primera aproximación de la viabilidad de implantación de SUDS en la ciudad. La ciudad de Gijón, forma parte de una de las principales áreas metropolitanas del noreste de la Península Ibérica; se trata de una urbe costera en la que los barrios rurales representan el 80% de la superficie total del municipio y concentra solo al 10% de la población. Se caracteriza por haber tenido una gran actividad industrial y minera durante el siglo XX. Actualmente está sufriendo una reconversión hacia una urbe universitaria, turística y comercial. A pesar de ello, el sector industrial representa un gran porcentaje de la actividad económica del municipio y como consecuencia de las actividades inherentes a esa actividad industrial y debido a una gestión in-

- More densely populated areas have higher diffuse pollution

Finally, for amenity and biodiversity objectives, it is recommended to analyse the following factors:

- Areas that show greater deterioration and will undergo urban redevelopment or new urbanisation processes.
- Areas of parks, squares, green zones and corridors.

Finally, the micro-scale analysis is focused on the selection of the most suitable SUDS typologies for implementation in the potential areas identified previously. The first step of this phase consists of a pre-selection of the SUDS that can achieve the most efficient reduction and improvement of the quality of the effluent volume of surface runoff located in the area. The relevance of each of these systems is estimated based on the following factors: volume of treatment it is capable of capturing, treating and discharging, degree of pollutant removal, amenity, biodiversity, maintenance and economics) [5]. Finally, as the main functions of SUDS techniques differ depending on the system, it is proposed to analyse the constraints of the identified potential area and to study the combination of techniques forming a sequential multifunctional scheme called drainage train.

3. RESULTS

The methodology proposed on a global scale has been applied to a specific case study in the city of Gijón, with the objective of making a first approximation of the feasibility of implementing SUDS in the city. The city of Gijón is part of one of the main metropolitan areas in the northeast of the Iberian Peninsula. It is a coastal city in which rural neighbourhoods represent 80% of the total surface area of the municipality and concentrates only 10% of the population. It is characterised by having experienced a great activity in the industrial and mining sectors during the 20th century. It is currently undergoing a reconversion into a university, tourist and commercial city. Despite this, the industrial sector represents a large percentage of the municipality's economic activity. As a consequence of the activities inherent to this industrial activity and also due to inefficient management of the city's drainage and wastewater treatment system, the city is increasingly facing episodes of high water pollution [36]. In addition, flood events are becoming more frequent and devastating to its urban infrastructure, providing a high-impact need and justification for this study.

First of all, the study area and its divisions (the districts) were defined. Then, in order to analyse the need for the implementation of SUDS, the problems associated with water in the city were determined. Specifically, the vulnerability of the study area to ri-

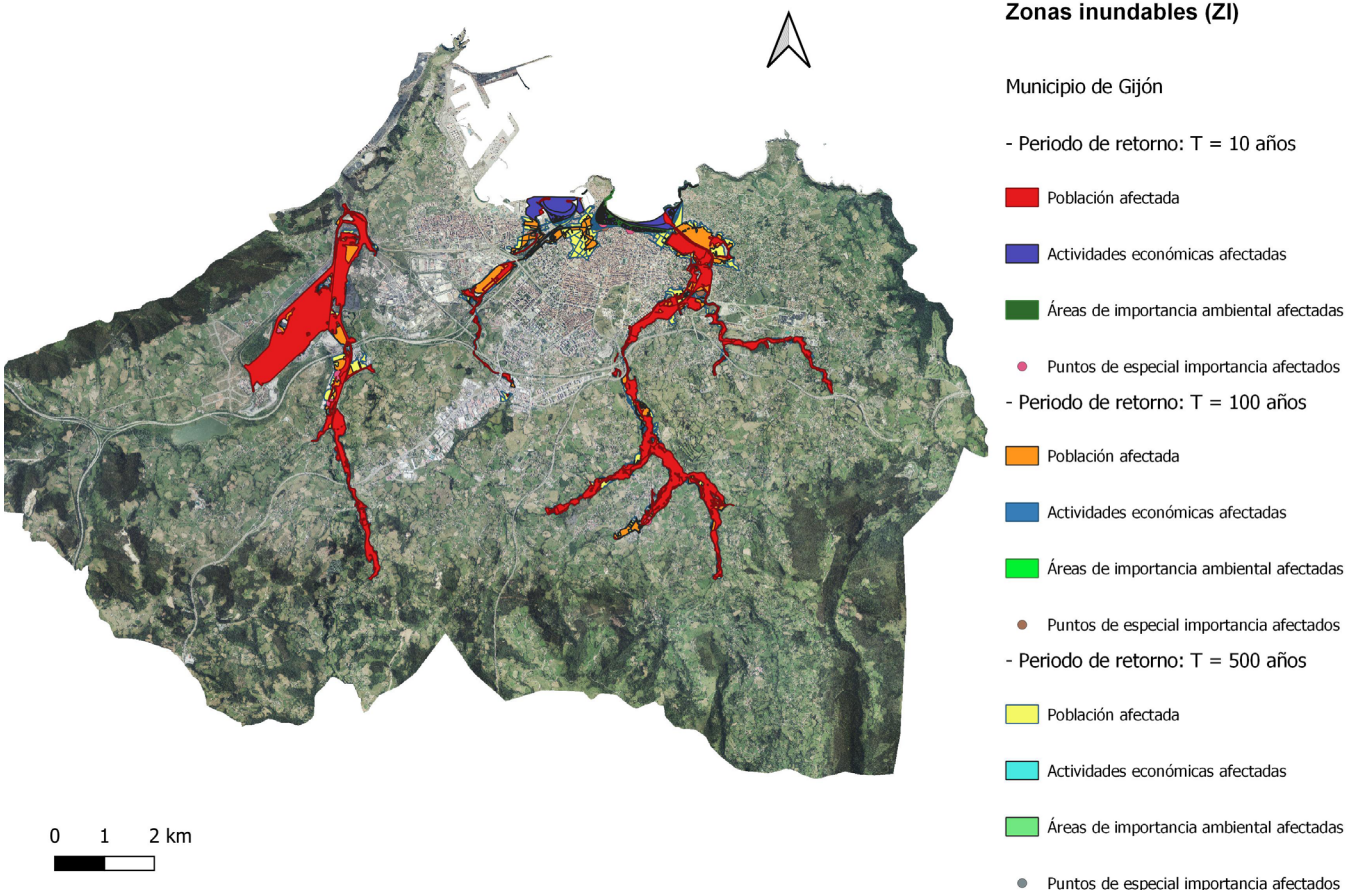
eficiente de la red de drenaje y tratamiento de aguas residuales de la ciudad, cada vez hace frente de forma más habitual a episodios de alta contaminación de sus aguas [36]. Además, los eventos de inundaciones cada vez son más frecuentes y devastadores para su infraestructura urbana, lo que supone una necesidad y una justificación de gran impacto para la realización de este estudio.

En primer lugar, se ha delimitado la zona de estudio y sus divisiones (los barrios del municipio). Seguidamente, con la finalidad de analizar la necesidad de implantación de los SUDS, se ha definido la problemática asociada al agua en la ciudad. En concreto, se ha estudiado la vulnerabilidad a sufrir inundaciones fluviales y costeras del área de estudio. El análisis de esta problemática se ha realizado a partir de los datos de libre acceso del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) [32]. La cartografía incluida en este servicio contiene las áreas definidas como zonas inundables asociadas a periodos de retorno (T). Se han incluido en el software QGIS las capas de información geográfica de las zonas inundables y su afección al municipio. Se estudiaron tres escenarios de probabilidad de inundación: alta (T = 10 años), media (T = 100 años) y baja probabilidad (T = 500 años). Además, para determinar las principales consecuencias adversas asociadas a estos escenarios de inundación, se ha representado su afección a la población, actividades

ver and coastal flooding was studied. The analysis of these problems was carried out using open access data from the Ministry for Ecological Transition and the Demographic Challenge. [9]. The cartography included in this service contains the areas defined as flood zones associated with return periods. The layers in vector format (shapefile) of the flood zones and their effect on the municipality have been included in the QGIS software. Three flood probability scenarios were studied using this software: high, associated with a return period of 10 years; medium, associated with a return period of 100 years; and low probability or extreme events associated with a return period of 500 years. In addition, in order to determine the main adverse consequences associated with these flood scenarios, their impact on the population, economic activities, protected areas and critical points has been represented (Figure 2).

Then, the General Urban Development Plan of the Municipality has been studied [31]. The study area has been divided according to its urban structure. The developable areas have been classified into Consolidated Urban Land (land that meets the condition of plot) (SU-C) and Unconsolidated Urban Land (SU-NC). At the same time, a classification of the typology of these land uses (residential, commercial or industrial) has been established. Non-urbanisable land, was classified into the following categories:

Fig.2. Vulnerable flood zones, economic activities, areas of environmental importance and hotspots.



económicas, zonas protegidas y puntos críticos (Figura 2).

Posteriormente se ha estudiado el Plan General de Ordenación Urbana del Municipio [31] y se ha dividido la zona estudio según su estructura urbanística. Las zonas urbanizables se han clasificado en Suelo Urbano Consolidado (terrenos que reúnen la condición de solar) (SU-C) y en Suelo Urbano No Consolidado (SU-NC). A su vez, se ha realizado una clasificación de la tipología de estos usos de suelo (residencial, comercial o industrial). En cambio, los suelos no urbanizables, se dividieron en las siguientes categorías:

- Especial protección (SNU-EP): terrenos con importantes valores ecológicos y ambientales que es preciso preservar de la acción urbanizadora.
- Interés (SNU-I): terrenos que recogen la actividad agrícola, ganadera y forestal, así como instalaciones asociadas a dichas actividades.
- Costas (SNU-C): corresponde con el delimitado por el Plan Territorial Especial del Suelo No Urbanizable de Costas (BOPA núm. 266 de 16-11-2016).
- Infraestructuras (SNU-IF): suelos ocupados por infraestructuras básicas o de transportes, además de aquellos destinados a dotaciones de interés público

- Special protection land (SNU-EP): land with important ecological and environmental values that must be preserved from development.

- Land of interest (SNU-I): land that includes agricultural, livestock and forestry activities, as well as facilities associated with these activities.

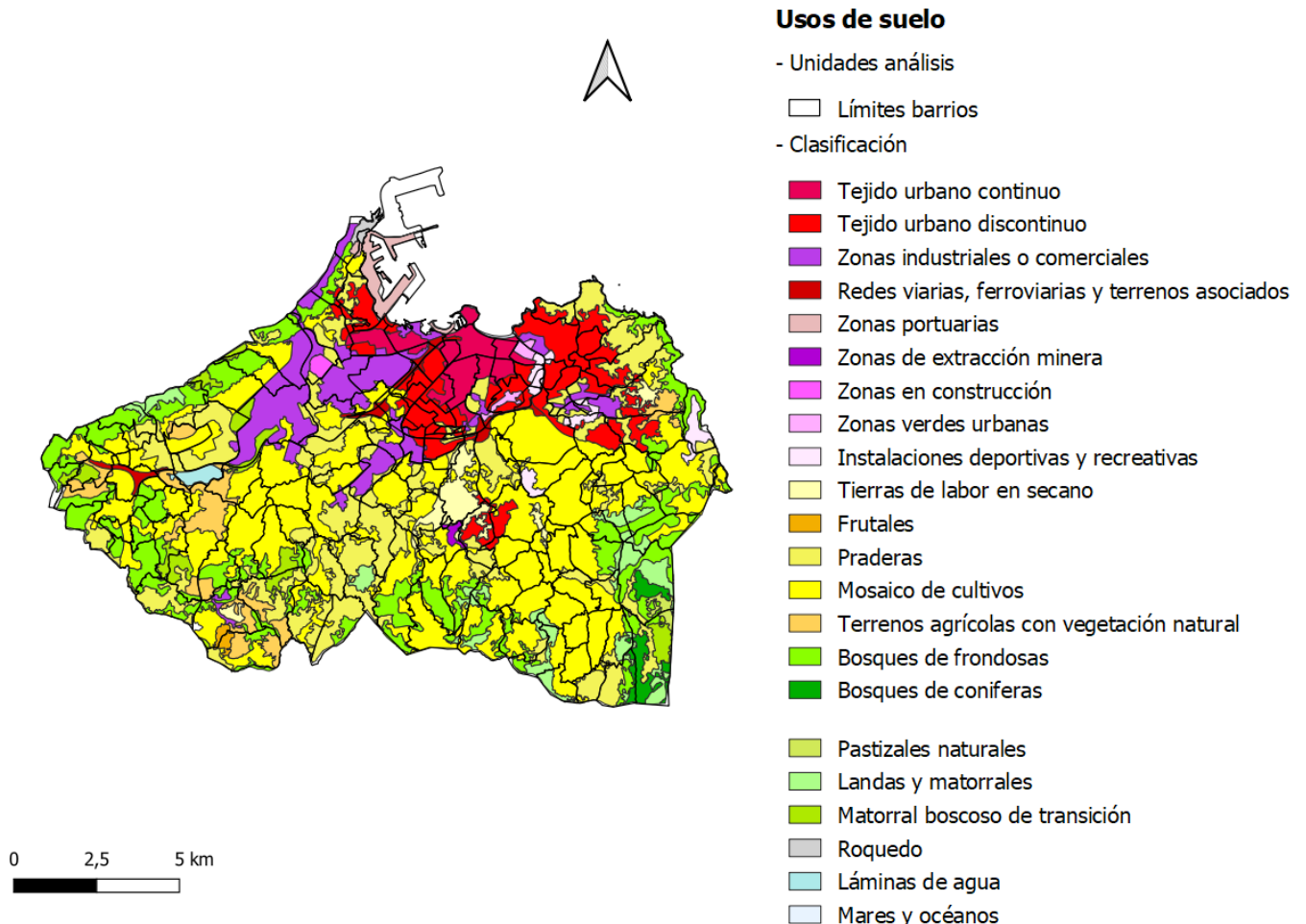
- Coastal land (SNU-C): corresponds to that delimited by the Special Territorial Plan for Undeveloped Coastal Land (BOPA no. 266 of 16-11-2016).

- Infrastructure land (SNU-IF): land occupied by basic or transport infrastructures, in addition to those destined for public or social interest facilities.

- Rural core land (SNU-NR): non-developable spaces in the rural area of the municipality.

The next step was based on an analysis of land uses (Figure 3). Those uses corresponding to continuous and discontinuous urban fabric, industrial or commercial areas, port areas, mining extraction areas and areas under construction are indicated as areas where there will be greater diffuse pollution. Conversely, those land uses where there is a large percentage of permeable surface are identified as areas where there is little presence of pollutants in surface runoff [33], [12].

Fig.3. Classification of land uses.



o social.

- Núcleo rural (SNU-NR): espacios no urbanizables en el ámbito rural del municipio.

El siguiente paso se ha basado en analizar los usos de suelo (Figura 3). Aquellos usos correspondientes a tejido urbano continuo y discontinuo, zonas industriales o comerciales, zonas portuarias, zonas de extracción minera y zonas en construcción se identifican como áreas donde existirá una mayor contaminación difusa. Por el contrario, aquellos usos de suelo donde exista un gran porcentaje de superficie permeable se identifican como zonas donde existe poca presencia de contaminantes en la escorrentía superficial [33] [12].

A partir de los datos de libre acceso de la Sede Electrónica de Catastro del Ministerio de Hacienda [37], se han dividido los espacios privados según la tipología de sus usos de suelo (residencial, comercial o industrial). Por otro lado, se ha realizado una identificación y clasificación de los espacios públicos. Esta clasificación se ha realizado teniendo en cuenta las zonas donde podría ser viable la implantación de SUDS, es decir, vías de comunicación (autopistas, carreteras, caminos peatonales, carriles bici, líneas de ferrocarril, vías de servicio y nuevas vías proyectadas), zonas verdes, corredores verdes-azules y aparcamientos.

Por último, se han identificado las principales restricciones de diseño que puede presentar la zona de estudio a la hora de introducir los SUDS. Esta tarea se ha basado en representar los valores de pendiente del terreno, nivel freático y la tipología del subsuelo con la finalidad de estimar su permeabilidad [32].

Para realizar la clasificación de la estructura urbanística y espacios públicos y privados ha sido necesario realizar un proceso manual de verificación y edición de los polígonos correspondientes a cada tipología

Based on open access data from the Electronic Cadastre Office of the Ministry of Finance [37], private spaces have been divided according to the typology of their land use (residential, commercial or industrial). On the other hand, public spaces have been identified and classified. This classification has been carried out taking into account the areas where the implementation of SUDS could be viable, i.e. communication routes (motorways, roads, pedestrian paths, cycle paths, railway lines, service roads and planned new roads), green areas, green-blue corridors and parkings lots.

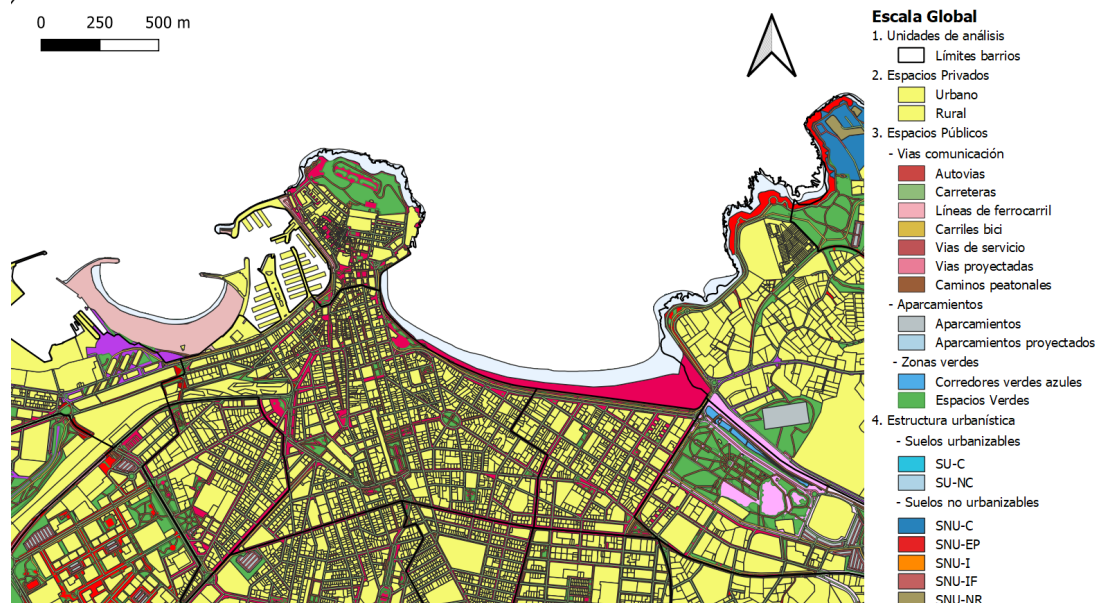
Finally, the main design restrictions that the study area may present when introducing SUDS have been identified. This work is based on representing the values of the slope of the land, the groundwater level and the typology of the subsoil in order to estimate its permeability [32].

In order to classify the urban structure and public and private spaces, it has been necessary to make a manual process of verification and editing of the polygons corresponding to each typology studied, due to the fact that the imported starting data are not complete and, in turn, do not cover the entire surface of the municipality. In addition, in order to identify the main factors that may have an impact on the implementation of SUDS, the attribute table of each layer includes the name and identification of the coverage, land use, urban category, public and private space, district to which it belongs, area and, finally, the analysis of the physical restrictions: average slope, subsoil typology and groundwater level.

The information obtained through the analysis of the physical and legal conditions of the study area has served to make a first approximation of the districts that may have greater limitations or facilities for the implementation of SUDS (Figure 4)..

4. CONCLUSIONS

Fig.4.
Global analysis of SUDS implementation in the municipality of Gijón, detail of the urban area.



estudiada, debido a que los datos de partida importados no están completos y a su vez, no abarcan toda la superficie del municipio. Además, para identificar los principales factores que pueden repercutir en la implantación de SUDS, se ha incluido en la tabla de atributos de cada capa el nombre e identificación de la cobertura, uso de suelo, categoría urbanística, espacio público y privado, barrio al que pertenece, área y posteriormente con el análisis de las restricciones físicas: pendiente media, tipología de subsuelo y profundidad freática.

La información obtenida mediante el análisis de los condicionantes físicos y legales del área de estudio ha servido para realizar una primera aproximación de los barrios que pueden tener mayores limitaciones o facilidades de implantación de los SUDS (Figura 4).

4. CONCLUSIONES

En base al estudio realizado en la presente investigación, se puede concluir que este tipo de técnicas se presentan como un nuevo paradigma y una oportunidad para mejorar la gestión de agua pluvial en las áreas urbanas. Es decir, se trata de un conjunto de técnicas que deben complementar, y en algunos casos sustituir, al drenaje convencional en las áreas urbanas. A la par, será ineludible su implantación en los nuevos planes y desarrollos urbanísticos, con la finalidad de evitar los indeseables problemas que se generan a consecuencia de la mala gestión de la esorrentía superficial.

Sin embargo, los marcos de referencia que buscan implantar los SUDS de manera transversal en la planificación urbana tienden a ser ambiguos, abiertos a multitud de interpretaciones, lo que dificulta a los organismos con competencias en la gestión del agua urbana la implementación de SUDS de manera práctica. En ese sentido, la metodología propuesta busca integrar los cuatro pilares de diseño de los SUDS (cantidad de agua, calidad y amenidad y biodiversidad) en la planificación urbana, mediante la identificación de áreas prioritarias y estratégicas a varias escalas (ciudad, local y micro). Además, con la finalidad de lograr la incorporación de esta herramienta en las políticas locales, se aplica especial énfasis en realizar un estudio detallado del marco regulador normativo del municipio (usos de suelo y estructura urbanística según el Plan General de Ordenación Urbana).

El municipio de Gijón ha sido seleccionado para aplicar la metodología propuesta a escala global y a partir de sus resultados se ha logrado realizar una primera aproximación de las áreas estratégicas para la implantación de SUDS. En el análisis y clasificación de la estructura urbanística del municipio, se ha observado que las características de los espacios públicos y privados varían en función de la unidad de análisis considerada. Por un lado, se ha identificado que la parte Este del tejido urbano discontinuo, pre-

From the study carried out in this research, it can be concluded that this type of technique represents a new paradigm and an opportunity to improve stormwater management in urban areas. In other words, it is a set of techniques that should complement, and in some cases replace, conventional drainage in urban areas. At the same time, their implementation in new urban plans and developments will be unavoidable, in order to avoid the undesirable problems generated as a result of poor management of surface runoff and to adapt to European regulatory directives, in particular the Water Framework Directive.

However, the frameworks tend to be ambiguous, open to a multitude of interpretations, which makes it difficult for urban water management agencies to implement SUDS in a practical way. In this sense, the proposed methodology aims to integrate the four pillars of SUDS design (water quantity, quality and amenity, and biodiversity) into urban planning by identifying priority and strategic areas at various scales (city, local and micro). In addition, in order to incorporate this tool into local policies, special emphasis is applied to carry out a detailed study of the regulatory framework of the municipality (land use and urban structure according to the General Urban Development Plan).

The municipality of Gijón has been chosen to apply the proposed methodology on a global scale and, based on its results, a first approximation of the strategic areas for the implementation of SUDS has been achieved. In the analysis and classification of the urban structure of the municipality, it has been observed that the characteristics of public and private spaces are different depending on the unit of analysis considered. On the one hand, it has been identified that the eastern part of the discontinuous urban fabric has a greater number of public spaces (parkings lots, green spaces, blue-green corridors and pedestrian and cycle paths). Furthermore, in this area there is a high degree of imperviousness (parking lots), parallel to the margin of the fluvial course that flows through this area of the municipality (river Piles), which greatly accentuates the generation of stormwater runoff and its discharge into the fluvial course without any type of pre-treatment. As for the analysis of the main physical restrictions of the ground, limitations have been found in this area of the municipality as well as in the land uses corresponding to the continuous and discontinuous urban fabric, mainly as a consequence of the reduced infiltration capacity of the natural ground (presence of clays) and a high groundwater level. Despite this, the implementation of SUDS in these areas would generate numerous functional (quantity and quality of water), social and environmental advantages. As a consequence of their vulnerability to flooding, due to the high number of public spaces available and, in addition, high diffuse pollution due to high urban density. It should be noted that the SUDS to be implemented in these strategic areas should not

senta una mayor disponibilidad de espacios públicos (aparcamientos, espacios verdes, corredores verde-azules y caminos peatonales y de bici). Además, en esta zona existe un alto grado de impermeabilización (aparcamientos), paralelos al margen del curso fluvial que circula por esta zona del municipio (río Piles), lo que acentúa en gran medida la generación de escorrentía y su vertido al curso fluvial sin ningún tipo de tratamiento previo. En cuanto al análisis de las principales restricciones físicas del terreno, se han encontrado limitaciones en esta zona del municipio al igual que en los usos de suelo correspondientes tejido urbano continuo y discontinuo, como consecuencia principalmente de la reducida capacidad de infiltración al terreno natural (presencia de arcillas) y un alto nivel freático. A pesar de ello, la implantación de SUDS en estas áreas generaría numerosas ventajas funcionales (cantidad y calidad de agua), sociales y medioambientales. Como consecuencia de su vulnerabilidad a sufrir inundaciones, por la gran disponibilidad de espacios públicos y además se estima una alta contaminación difusa debido a una elevada densidad urbana. Cabe señalar, que los SUDS que se implanten en estas áreas estratégicas no se deberá permitir la infiltración de volumen efluente al terreno natural en ellos, es decir, la subbase del sistema ha de estar impermeabilizada y evacuar el volumen mediante un sistema de drenaje subterráneo.

Po el contrario, las unidades de análisis ubicadas en la zona Oeste de la ciudad presentan menor viabilidad de implantación de SUDS. Debido a que, aunque tienen menores limitaciones geológicas y geotécnicas (permeabilidad del terreno y altura nivel freático), se caracterizan por una mayor presencia de espacios privados principalmente industriales y comerciales. Además, existen numerosas parcelas categorizadas como suelo no urbanizable según el Plan General de Ordenación Urbana, principalmente se detectaron numerosos suelos ocupados por infraestructuras básicas o de transportes y espacios no urbanizables en el ámbito rural del municipio.

La investigación que se presenta continúa en la actualidad, completando el análisis basado en la metodología desarrollada para la implementación de SUDS en áreas urbanas y rurales, centrandó dicho análisis en la escala local y en la escala micro para el caso de estudio de Gijón.

allow the infiltration of effluent volume to the natural ground, the sub-base of the system must be waterproofed and the volume must be evacuated by means of an underground drainage system.

The research presented here continues at present, completing the analysis based on the methodology developed for the implementation of SUDS in urban and rural areas, focusing this analysis on the local scale and on the micro scale for the case study of Gijón. Potential areas in the identified strategic zones will be prioritised, taking into account the four SUDS design pillars, and their characteristics will then be correlated with the SUDS design criteria to determine which typologies best match the functional, social and environmental requirements.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] United Nations, *World Urbanization Prospects 2018*. 2018.
- [2] Ministerio de Fomento, "Áreas urbanas en España 2018. Constitución, Cuarenta años de las ciudades españolas," *Minist. Fom.*, pp. 1–42, 2018.
- [3] L. Herslund and P. Mguni, "Examining urban water management practices – Challenges and possibilities for transitions to sustainable urban water management in Sub-Saharan cities," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 48, no. November, p. 101573, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101573.
- [4] P. Beceiro, R. S. Brito, and A. Galvão, "The contribution of NBS to urban resilience in stormwater management and control: A framework with stakeholder validation," *Sustain.*, vol. 12, no. 6, 2020, doi: 10.3390/su12062537.
- [5] AEMET, "Status report of the climate in Spain (2019)," *State Meteorol. Agency - AEMET*, vol. 1, no. 1, p. 88, 2019.
- [6] "Impervious Surfaces in French Creek Rick Guthrie, M. Sc., P. Geo., Regional Geomorphologist And John Deniseger, R. P. Bio., Environmental Impact Biologist Ministry of Water, Land and Air Protection Vancouver Island British Columbia Percent water," *Area*, 2001.
- [7] G. D. Bian et al., "A procedure for quantifying runoff response to spatial and temporal changes of impervious surface in Qinhuai River basin of southeastern China," *Catena*, vol. 157, no. January, pp. 268–278, 2017, doi: 10.1016/j.catena.2017.05.023.
- [8] N. Rezazadeh Helmi, B. Verbeiren, A. Mijic, A. van Griensven, and W. Bauwens, "Developing a modeling tool to allocate Low Impact Development practices in a cost-optimized method," *J. Hydrol.*, vol. 573, no. March, pp. 98–108, 2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.03.017.
- [9] Q. Zhou, "A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts," *Water (Switzerland)*, vol. 6, no. 4, pp. 976–992, 2014, doi: 10.3390/w6040976.
- [10] E. F. E. Sara Perales Momparler, Ignacio Andrés Doménech, "Los sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS) en la hidrogeología urbana," *J. Clean. Prod.*, vol. 52, no. Ictg, pp. 17–23, 2011.
- [11] A. Al Mamoon, S. Jahan, X. He, N. E. Joergensen, and A. Rahman, "First flush analysis using a rainfall simulator on a micro catchment in an arid climate," *Sci. Total Environ.*, vol. 693, p. 133552, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.07.358.
- [12] J. H. Lee, K. W. Bang, J. H. Ketchum, J. S. Choe, and M. J. Yu, "First flush analysis of urban storm runoff," *Sci. Total Environ.*, vol. 293, no. 1–3, pp. 163–175, 2002, doi: 10.1016/S0048-9697(02)00006-2.
- [13] AEAS, "Informe sobre aguas residuales en España," *Asoc. Española Abastecimientos Agua y Saneam.*, pp. 1–22, 2017, [Online]. Available: <http://www.asoaeas.com/sites/default/files/Documentos/Informe sobre aguas residuales AEAS.pdf>.
- [14] J. Pérez Gutiérrez and F. Pérez y Pérez, "Agua y medio ambiente," *Agua y medio Ambient.*, no. 9, pp. 9–25, 2006, doi: 10.5209/rev_OBMD.2006.n9.22543.
- [15] V. Pappalardo and D. La Rosa, "Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 52, no. September 2019, p. 101830, 2020, doi: 10.1016/j.scs.2019.101830.
- [16] I. E. Report, *Biodiversity and Nature-based Solutions*. .
- [17] ICLEI, "Resilient Cities, Thriving Cities: the Evolution of," 2019.
- [18] J. Ingram and C. Hamilton, *Planning for climate change: Guide – A strategic, values-based approach for urban planners*. 2014.
- [19] E. Palazzo, "From water sensitive to floodable: defining adaptive urban design for water resilient cities," *J. Urban Des.*, vol. 24, no. 1, pp. 137–157, 2019, doi: 10.1080/13574809.2018.1511972.
- [20] M. I. Rodríguez-Rojas, M. M. Cuevas-Arrabal, B. M. Escobar, and G. M. Montes, "The paradigm change of urban drainage management from the planning perspective. A methodological proposal," *Bol. la Asoc. Geogr. Esp.*, vol. 2017, no. 75, pp. 55–74, 2017, doi: 10.21138/bage.2492.
- [21] J. Mysiak, H. J. Henrikson, C. Sullivan, J. Bromley, and C. Pahl-Wostl, *The adaptive water resource management handbook*. 2013.
- [22] Global Water Partnership, "Policy Brief | Integrated Urban Water Management (IUWM): Toward Diversification and Sustainability," no. 16, pp. 1–4, 2013, [Online]. Available: www.gwp.org.
- [23] B. Gersonius, R. M. Ashley, C. Salinas-Rodríguez, J. Rijke, M. Radhakrishnan, and C. Zevenbergen, "Flood resilience in Water Sensitive Cities: Guidance for enhancing flood resilience in the context of an Australian water sensitive city," no. January, p. 78, 2016.
- [24] M. Franco-Torres, B. C. Rogers, and R. Harder, "Articulating the new urban water paradigm," *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–47, 2020, doi: 10.1080/10643389.2020.1803686.
- [25] L. A. Sañudo-Fontaneda, "Análisis de la infiltración de agua de lluvia en firmes permeables con superficies de adoquines y aglomerados porosos para el control en origen de inundaciones," pp. 1–448, 2014.
- [26] A. Bahri, *Integrated urban water management By Akiça Bahri*, no. December. 2015.
- [27] S. L. J. Ariza et al., "A multicriteria planning framework to locate and select sustainable urban drainage systems (SUDS) in consolidated urban areas," *Sustain.*, vol. 11, no. 8, 2019, doi: 10.3390/su11082312.

- [28] H. Ávila, G. Amaris, and J. Buelvas, "Identifying Potential Areas for SUDS Application in Consolidated Urban Watersheds Based on GIS," *World Environ. Water Resour. Congr. 2016 Water, Wastewater, Stormwater Urban Watershed Symp. - Pap. from Sess. Proc. 2016 World Environ. Water Resour. Congr.*, no. 2005, pp. 106–114, 2016, doi: 10.1061/9780784479889.012.
- [29] R. Kellagher et al., *The SUDS manual*. 2015.
- [30] R. V. Match, "A-1 . Runoff Treatment and Volume Match What do the Rules Say ?," vol. M, pp. 1–4, 2017.
- [31] "Plan General de Ordenación Urbana del Municipio de Gijón," 2019.
- [32] Ministerio de Transportes, "Centro de Descargas," Centro Nacional de Información Geográfica, 2021. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>.
- [33] MITECO, "Guías de adaptación al riesgo de inundación: sistemas urbanos de drenaje sostenible," *Minist. para la Transic. Ecológica*, p. 96, 2019.
- [34] M. Hussain, M. M. Ajmal, M. Khan, and H. Saber, "Competitive priorities and knowledge management: An empirical investigation of manufacturing companies in UAE," *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 26, no. 6, pp. 791–806, 2015.
- [35] Urban Drainage and Flood Control District, "Urban 1, Storm Drainage," 2016.
- [36] C. C- et al., "Court of Justice of the European Union PRESS RELEASE No 67 / 16 For having delayed in implementing the Urban Waste Water Directive , Portugal is ordered to pay a lump sum payment of € 3 000 000 and a penalty payment of € 8 000 per day of delay," no. 67, pp. 4–5, 2016.
- [37] Ministerio de Hacienda, "Sede Electrónica del Catastro," 2021. <https://www.sedecatastro.gob.es/>.

Analysis of traditional and BIM workflows for the optimization of energy-efficiency improvement interventions in collective residential buildings

Análisis de los flujos de trabajo tradicional y BIM para la optimización de las intervenciones de rehabilitación energética en edificios residenciales colectivos

Juan Pedro Otaduy Zubizarreta¹, Fernando Mora Martín², Leire Azcona Uribe¹, Jose Javier Perez¹, Itziar Rodriguez Oyarbide¹

ABSTRACT

According to Patrick MacLeamy, BIM technology improves the operation and maintenance management of existing buildings. The largest building costs are not incurred in the design or execution process. The greatest expenses are incurred during the operation and maintenance phase over the buildings life cycle. The study carried out within the research project "BIM technology for the optimization of the management of cultural and architectural heritage", characterizes and compares the traditional building workflow and a BIM based workflow, focusing on collective residential buildings envelope interventions to improve energy-efficiency. The aim of the research is to identify the strengths and weaknesses of each workflow and to study how the new methodology can enhance building management. Key indicators have been defined to assess and compare both workflows. Two geographically close case studies have been analyzed. The first one has been used as a role model to characterize the traditional workflow and the latter to establish the BIM based one. The collected data has allowed concluding the advantages and disadvantages of each methodology. The research has also identified new operation and maintenance roles related to BIM based workflows.

Key Words: energy-efficiency, residential building, BIM, KPIs, optimization

(1) Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Arkitektura Eskola. Oñati plaza 2 20018 Donostia

(2) Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea. Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola. Europa plaza 1 20018 Donostia

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos más importantes de la sociedad actual es la reducción del impacto ambiental. El sector de la construcción es responsable de un importante consumo de recursos y sistemas en el ciclo de vida completo: tanto en la fase de construcción de nuevos edificios como en la fase de operación y mantenimiento de los existentes o en la demolición de los mismos.

Los estudios demuestran que más del 65% del consumo mundial de energía primaria se puede atribuir a las zonas urbanas y que estas generan a su vez más de dos tercios de las emisiones mundiales directas de gases de efecto invernadero. La Red Temática Europea de Recomendaciones Prácticas para la Construcción Sostenible (PRESCO) publicó en 2005 un informe [1] en el que se detallaban las diferentes herramientas que podían adoptar los países europeos para garantizar diseños respetuosos con el medio ambiente. Una de ellas era la adopción de objetivos de reducción de impacto ambiental en los pliegos para el diseño de los edificios.

Los estudios europeos muestran que más del 40% de los edificios residenciales europeos se han construido antes de la década de 1960 y más del 50% antes de la década de 1970.

A partir del Protocolo de Kyoto el año 1997, la Unión Europea adquirió una serie de compromisos para la reducción del consumo energético consciente de que uno de los sectores donde más energía se consumía era el sector de la edificación. Con el fin de reducir este consumo, la UE lanza la primera normativa de referencia sobre eficiencia energética en los edificios, la Directiva 2002/91/CE. A partir de ese momento, se han sucedido otras normativas como la Directiva 2010/31/UE que establecía que a partir del año 2020 los edificios de nueva construcción deben ser edificios de consumo de energía casi nulo [2].

Esta directiva anterior se modifica por la Directiva (UE) 2018/844 con el objetivo principal de acelerar la renovación rentable de los edificios existentes. Con tal fin, introduce más específicamente, sistemas de control y automatización de edificios como alternativa a las inspecciones físicas, fomenta el despliegue de la infraestructura necesaria para e-mobility, y propone un indicador de inteligencia para evaluar la preparación tecnológica del edificio. Esta actualización también fortalece los vínculos entre la financiación pública y los certificados de rendimiento energético e incentiva la lucha contra la pobreza energética mediante la renovación de edificios.

En relación a la digitalización del sector de la construcción, cabe destacar que a partir de la crisis iniciada en el 2006 el sector ha padecido serias dificultades, de las cuales aún no se ha recuperado. Aunque existen otros sectores en las mismas circunstan-

1. INTRODUCTION

One of the most important challenges of today's society is the reduction of environmental impact. The AEC (Architecture, Engineering and Construction) sector is responsible for a significant consumption of resources and systems in the entire life cycle of buildings: both in the construction phase of new buildings and in the operation and maintenance phase of existing buildings or in the demolition of existing buildings.

Studies show that more than 65% of global primary energy consumption can be attributed to urban areas, which in turn generate more than two-thirds of direct global greenhouse gas emissions. The European Thematic Network of Practical Recommendations for Sustainable Construction (PRESCO) published a report in 2005 [1] detailing the different tools that European countries could adopt to ensure environmentally friendly designs. One of them was the adoption of environmental impact reduction targets in building design specifications.

European studies show that more than 40% of European residential buildings were built before the 1960s and more than 50% before the 1970s.

Following the Kyoto Protocol in 1997, the European Union made commitments to reduce energy consumption, being aware that one of the sectors where most energy was consumed was the building sector. In order to reduce this consumption, the EU launched the first reference regulation on energy efficiency in buildings, Directive 2002/91/EC. Since then, other regulations have followed, such as Directive 2010/31/EU, which established that from 2020 new buildings must be nearly zero-energy buildings [2]. This directive is amended by Directive (EU) 2018/844.

The main objective of this new Directive is to accelerate the cost-effective renovation of existing buildings. To reach this goal, the document encourages building control and automation systems as an alternative to physical inspections, suggests the deployment of the necessary infrastructure for e-mobility, and proposes an intelligence indicator to assess the technological readiness of the building. This update will also strengthen the links between public funding for building renovation and energy performance certificates and incentivize the fight against energy poverty through building renovation.

Regarding the digitization of the construction sector, it should be noted that since the 2006 crisis, the sector has suffered serious difficulties that are not yet solved. Although there are other sectors in the same circumstances, they have been able to overcome the situation. One of the reasons that may explain the disadvantage between construction and other sectors is the poor evolution of productivity during the last few years. In fact, over the last 20 years, productivity

cias, estos han podido superar la situación. Una de las razones que pueden explicar la desventaja de la construcción frente a otros sectores que han podido superar la situación, es la escasa evolución de la productividad durante los últimos años. De hecho, durante los últimos 20 años, la productividad ha aumentado tan solo un 1% anual, en comparación con el 2.8% de aumento en la economía global o el 3.6% en el sector manufacturero [3]. Así mismo varios informes realizados en toda la UE identifican problemas sistémicos en este sector de la construcción, relacionados todos ellos con bajos niveles de colaboración interdisciplinar, baja inversión en tecnologías I+D+I y sobre todo una mala gestión de la información.

Estos problemas sistémicos relacionados sobre todo con la baja colaboración interdisciplinar de los equipos redactores y de mantenimiento de los proyectos así como la deficiente gestión de toda esta información, repercuten negativamente sobre la inversión del dinero público, favoreciendo mayores riesgos financieros debido sobre todo a un exceso de costos imprevistos, ejecuciones y entregas de infraestructuras públicas que se dilatan en el tiempo o fuera de plazo y cambios evitables del proyecto definitivo o ejecutado.

La implementación de BIM en las etapas de diseño y construcción resulta beneficiosa, particularmente en la gestión del diseño, los plazos de construcción y los costos correspondientes [4], [5]. Evidentemente esto se debe a un alto nivel de colaboración temprana o inicial entre los diferentes agentes implicados. Sin embargo, estos beneficios son relativamente insignificantes en comparación con los obtenidos a lo largo del ciclo de vida completo de un edificio o infraestructura. Este concepto de sostenibilidad también se puede aplicar con éxito en los proyectos de rehabilitación, no solo por ser rentable a largo plazo, sino porque puede reducir los costes de operación (consumo de energía o de agua) y el impacto ambiental (emisiones de CO₂) y puede aumentar la resiliencia del edificio tras la rehabilitación [6].

En este sentido las herramientas de diseño BIM abren nuevas vías para la innovación permitiendo diseños creativos y soluciones optimizadas. El uso de la metodología BIM para la rehabilitación de edificios existentes puede mejorar la toma de decisiones encaminadas a un proceso constructivo sostenible y minimizar errores a través de herramientas de diseño integradas, aunque estas herramientas están actualmente en desarrollo y no han alcanzado su máximo potencial.

La poca eficiencia de los procedimientos en las actuaciones de rehabilitación de edificios ya construidos que siguen la metodología tradicional, se deben en gran medida a la falta de cohesión de la información existente respecto al objeto sobre el que se pretende intervenir. Además, los diversos agentes

in the construction sector has increased by an average of 1% per year, compared to 2.8% for the overall economy or 3.6% for the manufacturing sector [3]. Likewise, several EU-wide reports identify systemic problems in the construction sector, all of which are related to low collaboration levels, low investment in R&D&I technologies and, above all, poor information management.

These systemic problems, related mainly to the low interdisciplinary collaboration of project designers and maintenance teams as well as the poor management of all this information, have a negative impact on the investment of public money, favoring higher financial risks due mainly to unforeseen cost overruns, delayed or late execution and delivery of public infrastructure, and avoidable changes to the final or executed project.

The implementation of BIM in the design and construction stages is beneficial, particularly in the management of design, construction schedules and related costs [4], [5]. This is due to the high level of early or initial collaboration between the different stakeholders involved. However, these benefits are relatively insignificant compared to the total life cycle cost of a building or infrastructure. This concept of sustainability can also be successfully applied in rehabilitation projects, not only because it is cost-effective in the long term, but also because it can reduce operating costs (energy or water consumption) and environmental impact (CO₂ emissions) and can increase the resilience of the building after rehabilitation [6].

In this sense, BIM design tools open new avenues for innovation allowing creative designs and optimized solutions. The use of BIM methodology for rehabilitation of existing buildings can improve decision making aimed at a sustainable construction process and minimize errors through integrated design tools, although these tools are currently under development and have not reached their full potential.

In the traditional rehabilitation methodology applied on existing buildings, there are inefficient procedures that are due to the lack of cohesion of the existing information regarding the object on which the intervention is intended. Furthermore, the various agents involved in this process work separately following unconnected protocols, favoring the dispersion of information [7]. There are international policies that highlight the need for collaborative systems that allow the exchange of such information [8]. The BIM (Building Information Modeling) methodology is one of these tools that allow an integrated development of projects, and represent a decisive advantage on the way to efficient management. BIM can be used to manage the entire building life cycle, allowing agile information exchange. It optimizes the control of changes in the execution project, the accuracy of costs in advance of the intervention and subsequent maintenance processes, the management of

que participan en este proceso trabajan de forma separada siguiendo protocolos inconexos, lo que favorece la dispersión de la información [7]. Existen políticas internacionales que destacan la necesidad de sistemas colaborativos que permitan el intercambio de dicha información [8]. La metodología BIM (Building Information Modelling) es una de estas herramientas que permiten un desarrollo integrado de los proyectos, y suponen una ventaja decisiva en el camino hacia una gestión eficiente. BIM puede ser utilizado para gestionar todo el ciclo de vida de la edificación, permitiendo el intercambio ágil de la información. Optimiza el control de los cambios en el proyecto de ejecución, la exactitud de los costes con antelación a la intervención y los posteriores procesos de mantenimiento, la gestión de las instalaciones y de los activos e incluso permite incluir en un modelo único la monitorización de las mediciones para el control energético.

Por todo ello, se crea "Edificio Inteligente" que integra los principales sistemas de un en modelo único incluido en un entorno común que permite compartir información y funcionalidades entre los diferentes agentes para mejorar las operaciones del mismo. En este contexto la metodología BIM es una magnífica herramienta para llevar a cabo intervenciones de rehabilitación enfocadas a conseguir un edificio más eficiente. En la actualidad, se identifican 7 dimensiones BIM, aunque algunas fuentes llegan incluso a especificar los requerimientos y beneficios de hasta 10 dimensiones. Las dimensiones 6D (sostenibilidad de los activos) y 7D (operación y mantenimiento durante el ciclo de vida completo) se encargan específicamente de los aspectos más relevantes que afectan a estas reformas energéticas.

2. OBJETIVOS

La investigación pretende proponer una metodología innovadora de análisis, tratamiento y gestión de la información basada en un modelo gráfico 3D as-built complementado por una base de datos especializada (input) en un proyecto de rehabilitación de fachadas: datos históricos, arqueológicos, arquitectónicos, de alteraciones, etc. Tanto los datos geométricos como la información especializada se engloban en un único modelo. Así, de este modelo de información se podrá extraer mediante un filtrado (output) en cada momento toda aquella información necesaria para la optimización de la gestión de estos bienes.

Por otra parte, se quiere alcanzar una interoperabilidad total de la información que se recoge en el modelado entre las diversas disciplinas que intervienen en el proceso de conservación y rehabilitación de dicho patrimonio. Se han establecido unos criterios de intervención y de mantenimiento que ayuden a comprender la evolución que ha tenido el edificio y en base a esto, programar áreas de actuación que prolonguen el ciclo de vida del mismo con interven-

facilities and assets, and even allows including the monitoring of measurements for energy control in a single model.

Therefore, the aim has been to move towards the "Intelligent Building" that integrates the main building systems in a single model included in a common data environment that allows sharing information and functionalities among the different agents to improve building operations. In this context, the BIM methodology is a magnificent tool to carry out rehabilitation interventions focused on achieving a more efficient building. Currently, 7 BIM dimensions are identified, although some sources go as far as specifying the requirements and benefits of up to 10 dimensions. Dimensions 6D (asset sustainability) and 7D (full life cycle operation and maintenance) specifically address the most relevant aspects affecting these energy retrofits.

2. OBJECTIVES

The specific objectives of the research carried out are intended to propose an innovative methodology for the analysis, processing and management of information based on a 3D as-built graphic model complemented by a specialized database (input) in a façade rehabilitation project: historical, archaeological, architectural, alteration data, etc.. Both geometric data and specialized information are included in a single model. Thus, from this information model it will be possible to extract by means of a filtering (output) the necessary information at each moment for the optimization of the management of these assets.

On the other hand, the aim is to achieve total interoperability of the information that is collected in the model for the various disciplines involved in the process of conservation and rehabilitation of this heritage. The criteria for intervention and maintenance have been established, in order to be able to track the evolution it has undergone. Based on this, it will be possible to program action areas to extend its life cycle with specific interventions to enhance its value.

Finally, the aim is to promote a cultural-technological-digital change in the rehabilitation sector, taking into account values such as continuous innovation, sustainable development, energy efficiency and circular economy. At the same time, the goal is to minimize the deviation of costs due to changes in the work process, in the management and maintenance of buildings.

The traditional work flow of façade rehabilitation has been analyzed to identify the weaknesses that may lead to non-compliance with the established deadlines and may cause cost overruns in the work defined in advance. In addition, a façade rehabilitation workflow has been established following the BIM methodology in order to minimize cost overruns and

ciones para su puesta en valor.

Por último, se quiere promover un cambio cultural-tecnológico-digital en el sector de la rehabilitación, atendiendo a valores como la innovación continua, el desarrollo sostenible, la eficiencia energética y la economía circular. A su vez, se ha intentado minimizar el desvío de costes por cambios en el proceso de obra, en la gestión y el mantenimiento de los edificios.

Se ha analizado el flujo de trabajo tradicional de las obras de rehabilitación de fachadas para identificar los puntos débiles que puedan provocar el incumplimiento de los plazos previstos y el sobrecoste de los trabajos definidos de antemano. Además, se ha establecido un flujo de trabajo siguiendo la metodología BIM que pueda ayudar a minimizar los sobrecostes y a ajustar los tiempos a lo previsto.

3. METODOLOGÍA

Esta investigación se sustenta en una metodología innovadora de análisis, tratamiento y gestión de la información basada en un modelo 3D geométrico integrado por una base de datos especializada (input). De este modelo de información se podrán extraer mediante un filtrado (output) la información necesaria en cada momento para la optimización de la gestión de los proyectos, construcciones, y edificaciones en todo su Ciclo de Vida. El trabajo del equipo de investigación se ha desarrollado en una metodología cooperativa y colaborativa por medio de un servidor propio a través de VPN y plataformas de sincronización en tiempo real en la nube.

Se ha acotado el trabajo a las intervenciones de rehabilitaciones de fachada, tanto con el sistema SATE como con fachada ventilada para la mejora de la eficiencia energética. Se ha realizado una investigación basada en la recopilación de la información existente de dos casos piloto seleccionados: Proyecto original, informes, ITES, certificados energéticos, proyectos de intervención, etc.

Además, se ha analizado el flujo de trabajo tradicional (sin BIM) donde se han establecido las distintas fases del proceso (fase previa; fase de proyecto; fase de adjudicación y tramitación administrativa; fase de ejecución; fase fin de obra; fase de mantenimiento del edificio). Se han identificado todos los procesos que se siguen en cada fase, con los agentes que participan en cada una de ellas estableciendo la duración aproximada de cada una, la documentación que se genera y cómo se tramita dicha documentación. Se han identificado a su vez los problemas o incidencias habituales. Una vez establecido el flujo tradicional en su marco teórico se analiza el este flujo en el caso piloto 1. Para recopilar la información necesaria en torno al flujo seguido, se han planteado varios cuestionarios.

to adjust the construction schedules as planned.

3. METHODOLOGY

This research is based on an innovative methodology for the analysis, treatment and management of information based on a 3D geometric model integrated by a specialized database (input). This information model enables to extract the needed information to optimize the management of the projects, constructions and buildings during the whole Life Cycle by means of a filtering (output).

The work of the research team has been developed in a cooperative and collaborative methodology through a proprietary server via VPN and real-time synchronization platforms in the cloud.

The research subject has been focused on façade rehabilitation interventions to improve energy efficiency, both with the ETICS (External Thermal Insulation System) and with ventilated façade. An investigation has been carried out based on the collection of the existing information regarding the two selected pilot cases: original design documents, reports, TBIs (Technical Building Inspection reports), energy certificates, intervention projects, etc.

In addition, the traditional workflow (without BIM) has been analyzed, where the different phases of the process have been established (preliminary phase; project phase; awarding and administrative processing phase; execution phase; end of work phase; building maintenance phase). All the processes that are followed in each phase have been identified, with the agents that participate in each one of them, establishing the approximate duration of each process, the documentation that is generated and how this documentation is processed. The usual problems or incidents have also been identified. Once the traditional flow has been established in its theoretical framework, this flow is analyzed in the pilot case 1. In order to collect the needed data to establish the flow followed, several questionnaires have been proposed.

The BIM workflow has been established by identifying all the processes (data acquisition, as built building modeling), material resources, software and hardware required, documentation generated and its processing, identification of modeling phases, roles and agents involved, deliverables, among others. With the theoretical framework defined, how the BIM process should be developed has been analyzed in the pilot case 2. In order to conclude the advantages and disadvantages of each workflow, some key indicators have been identified. With the information gathered and the research carried out, the results of these indicators have been compared and the strengths and weaknesses of each workflow have been established in order to define the most appropriate methodology to follow in this type of

Del mismo modo, se ha establecido el flujo de trabajo BIM identificando todos los procesos (adquisición de datos, modelado del edificio as built), los recursos materiales, software y hardware necesarios, la documentación generada y su tramitación, la identificación de las fases de modelado, los roles y los agentes intervinientes, entregables, entre otros. Con este marco teórico definido se ha analizado cómo se debería desarrollar el proceso BIM en el caso piloto 2. Para poder concluir las ventajas e inconvenientes de cada flujo de trabajo se han identificado algunos indicadores clave. Con la información recopilada y la investigación realizada se han comparado los resultados de estos indicadores y se han establecido las virtudes y los inconvenientes de cada flujo de trabajo para fijar la metodología más adecuada a seguir en este tipo de intervenciones.

4. CASOS DE ESTUDIO

Se han elegido dos casos de estudio, tal y como se adelantaba en el apartado anterior. En uno de ellos se ha analizado el flujo de trabajo tradicional. El segundo edificio seleccionado ha servido de modelo para establecer el flujo de trabajo con BIM. Esto ha permitido hacer una comparación de los dos flujos de trabajo y observar ventajas e inconvenientes de cada metodología. Ha habido varios condicionantes para realizar la selección de los casos: que las obras coincidieran en el tiempo con el desarrollo del proyecto de investigación; que fueran intervenciones realizadas con el fin de obtener una mejora energética de la envolvente de fachada; que tuvieran una localización geográfica similar. Teniendo en cuenta estos condicionantes se han elegido dos edificios localizados en Donostia. El edificio localizado en la calle Claudio Antón Luzuriaga, 1, en el barrio de Gros, será el primer caso de estudio. El segundo edificio es una torre localizada en la Calle Bertsolari Txirrita, 38, en el barrio de Alza.

El edificio situado en la calle Claudio Antón Luzuriaga, 1, del barrio de Gros, ha sido el primer caso de estudio en el que se ha aplicado el flujo de trabajo tradicional. El segundo edificio, una torre localizada en la Calle Bertsolari Txirrita, 38, en el barrio de Alza, ha servido para implementar la nueva metodología.

Como en todas las actividades económicas, en pleno desarrollo de la obra de ambos edificios la pandemia del COVID-19 ha condicionado el ritmo de la obra y su seguimiento: se ha podido escanear el

intervention.

4. CASE STUDIES

Two case studies have been chosen. In one of them, the traditional workflow has been analyzed. The second building selected was used as a model to establish the BIM workflow. This approach has allowed comparing the two workflows and to determine the advantages and disadvantages of each methodology. Several conditions have been predefined to select the most suitable cases: that the construction process coincides in time with the development of the research project; that the interventions are focused on the façade envelope and aimed to improve the energy performance of the building; that they have a similar geographical location. Taking into account these conditions, two buildings located in Donostia have been chosen. The building located at 1 Claudio Antón Luzuriaga Street, in the Gros neighborhood, will be the first case study. The second building is a tower located at 38 Bertsolari Txirrita Street, in the Alza neighborhood.

The building located at 1 Claudio Antón Luzuriaga Street, in the Gros neighborhood, was the first case study and traditional workflow was applied there. The second building, a tower located at 38 Bertsolari Txirrita Street, in the Alza neighborhood, has been used to implement the new methodology.

As in all economic activities, in the midst of the construction on both buildings, the COVID-19 pandemic has conditioned the pace of the work and its monitoring: pilot building 2 (BIM Flow) has been scanned before the intervention, which has allowed the building to be modeled in its current state. In addition, one of the floors (4th floor) was scanned with the solution adopted by the company during the construction phase. These incidents have meant that in the second building it has not been possible to study the BIM workflow in parallel to the work on site.

At the same time, both workflows (the traditional one and the one based on the BIM methodology) have been characterized and collected in two flowcharts. The BPMN2.0 standard, commonly used to characterize processes in BIM environments, has been adopted to create the flowcharts. The processes have been grouped by phases and linked to the different agents involved in the processes and the documentation and/or information generated in

Fig. 1. Orthophotos. Location of the case study 1, Building in 1 Claudio Antón de Luzuriaga Street, Gros neighborhood, Donostia and 2nd Building in 38 Bertsolari Txirrita Street, Donostia. Source: Google Maps 2021



edificio piloto 2 (Flujo BIM) antes de la intervención, lo que ha permitido modelar el edificio en su estado previo. Además, se ha escaneado una de las plantas (4ª planta) con la solución adoptada por la empresa en fase de obra. Sin embargo, estas incidencias han provocado que no se haya podido estudiar el flujo de trabajo BIM en paralelo a los trabajos en obra.

Paralelamente, se han caracterizado ambos flujos de trabajo (el tradicional y el basado en la metodología BIM) y se ha recogido en sendos flujogramas. Para realizar los diagramas de flujo se ha adoptado el standard BPMN2.0, estándar utilizado habitualmente para caracterizar los procesos en entornos BIM. Los procesos se han agrupado por fases y se han vinculado a los diferentes agentes que participan en los procesos y la documentación y/o información que se genera en cada proceso.

El análisis del flujo de trabajo tradicional en este tipo de intervenciones en edificios existentes ha permitido identificar los puntos débiles de los procesos habituales en el ámbito de la rehabilitación. El análisis del flujo de trabajo llevado a cabo en el edificio piloto 1, ha permitido corroborar las múltiples incidencias y problemas que se generan con el método de trabajo tradicional. Desde un principio, se constata la naturaleza inconexa de la información existente, con lo que es complicado conocer la evolución que ha sufrido el edificio para llegar a su estado previo a la intervención y visualizar el contexto más amplio del edificio a intervenir. Por otro lado, tradicionalmente el levantamiento del estado actual se está llevando a cabo con sistemas de captura discreta de puntos (medidores láser, niveles, estaciones totales, etc.). Esta base de información poco precisa e inconexa, implica que el punto de partida para redactar el proyecto de intervención no sea el adecuado y que la intervención propuesta no se ajuste a la realidad. Incluso la información recogida en los diferentes documentos del proyecto no es coherente. Esto conlleva errores o indefiniciones de proyecto que derivan en desvíos tanto en los plazos previstos como en el presupuesto acordado con la propiedad.

La caracterización del flujo de trabajo BIM en este tipo de intervenciones ha definido cómo se realiza el levantamiento arquitectónico con el uso de técnicas digitales de captura masiva de datos (estas técnicas también se pueden utilizar en el flujo de trabajo tradicional, pero no son habituales) y los recursos materiales requeridos para ello. Se ha identificado el software y el hardware para el tratamiento del levantamiento topográfico mediante estación total, para el tratamiento de nubes de puntos capturadas mediante escáner láser 3D, para el tratamiento de la captura mediante software fotogramétrico automatizado SfM, para el modelado BIM, para la detección de colisiones, para la justificación de normativa en entorno BIM y para mediciones y presupuestos en entorno BIM. Se han estudiado las diferentes opciones de CDEs (Common Data Environment, Entorno

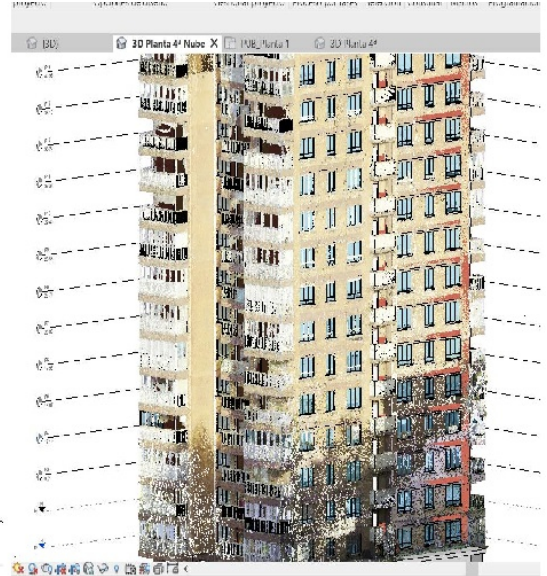
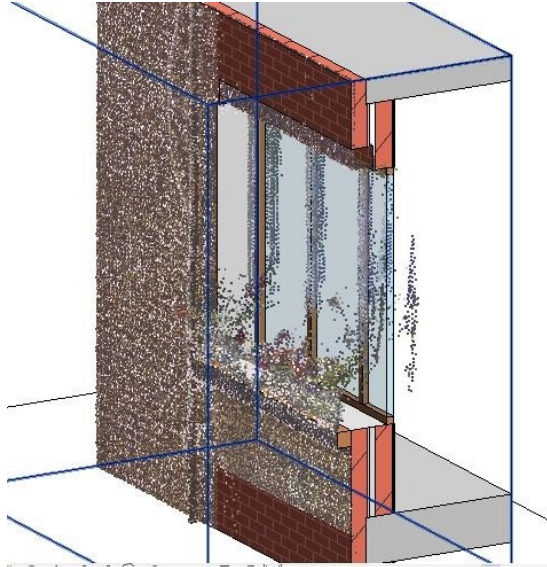
each process.

The analysis of the traditional workflow in this type of interventions in existing buildings has allowed the identification of the weak points of the usual processes in the field of rehabilitation. The analysis of the workflow carried out in the pilot building 1, has allowed to corroborate the multiple incidences and problems that are generated with the traditional method. In the phase prior to the intervention, the disjointed nature of the existing information is verified, making it difficult to know the evolution that the building has undergone to reach its current status and to visualize the broader context of the building. On the other hand, traditionally the survey of the current state is being carried out with discrete point capture systems (laser meters, levels, total stations, etc.). With this base of inaccurate and unconnected information, the starting point for drafting the intervention project is not adequate and leads to the proposed intervention not being in line with reality. Even the information collected in the original project documents is not coherent. This leads to errors or lack of definition in the project that result in deviations both in the deadlines and in the budget agreed with the property.

The characterization of the BIM workflow in this type of interventions has defined how the architectural survey is performed with the use of digital techniques of massive data capture (these techniques can also be used in the traditional workflow, but are not common) and the material resources required for it. Software and hardware have been identified for the treatment of topographic survey by total station, for the treatment of point clouds captured by 3D laser scanner, for the treatment of the capture by SfM automated photogrammetric software, for BIM modeling, for collision detection, for the justification of regulations in BIM environment and for measurements and budgets in BIM environment. The different options of CDEs (Common Data Environment) and communication traceability systems have been studied. The contractual documents that bind all the figures or agents from the beginning of the process, the new figures or roles that participate in these processes and how the deliverables are managed have been detailed.

With the characterization of this workflow, it has been confirmed that the information losses that occur in the traditional workflow can be mitigated, since the information obtained is connected and accessible to all the agents involved in the processes thanks to the common data environment (each agent will have responsibilities and restrictions of access to the information defined in the contractual documents). In addition, the geometric recognition of the building is more accurate due to the digital techniques of massive data capture. The starting point for the drafting of the project is more faithful to reality.

Fig.2. Overlay of point cloud and model of existing phase of the pilot building



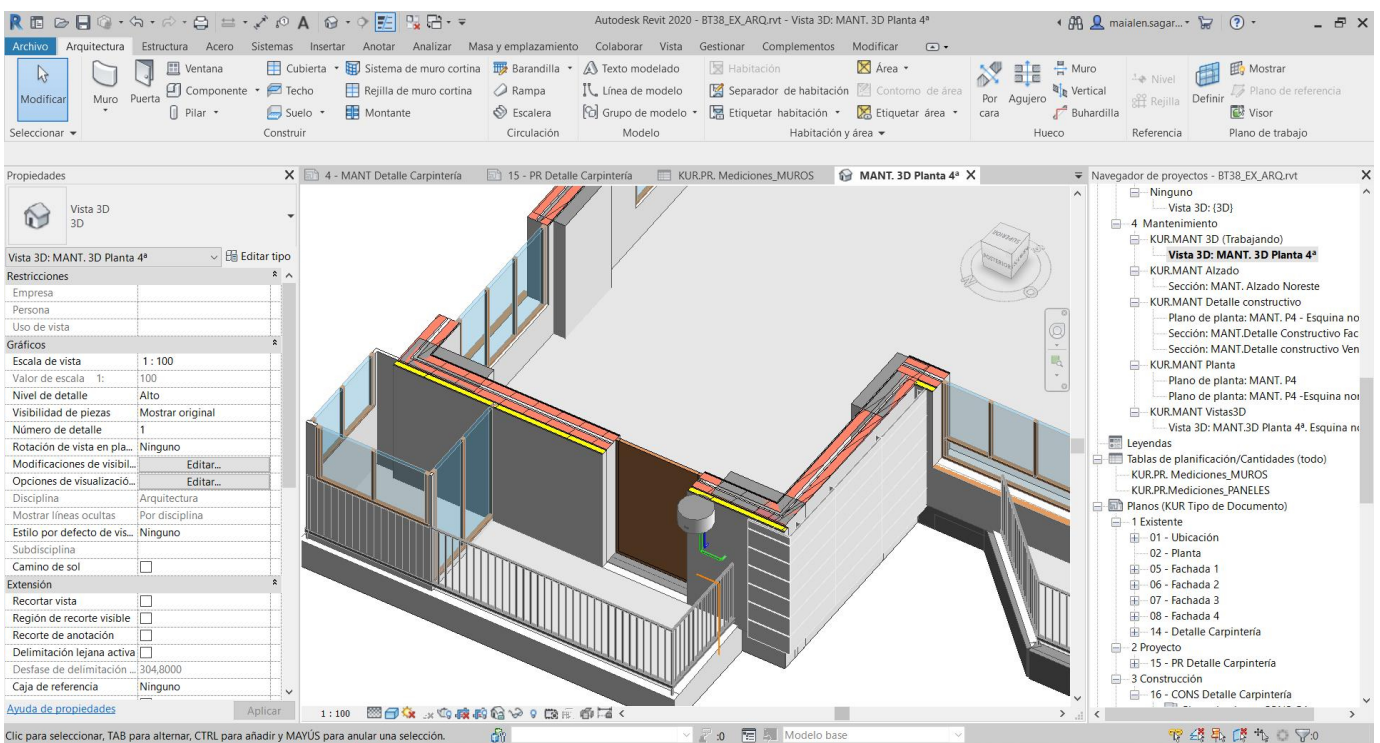
Común de Datos en español) y los sistemas de trazabilidad de las comunicaciones. Se han detallado cuáles son los documentos contractuales que vinculan a todas las figuras o agentes desde el comienzo del proceso, las nuevas figuras o roles que participan en estos procesos y cómo se gestionan los entregables.

Con la caracterización de este flujo de trabajo se ha confirmado que se pueden mitigar las pérdidas de información que se producen en el flujo de trabajo tradicional, ya que la información obtenida está conectada y accesible para todos los agentes que participan en los procesos gracias al entorno común de datos (cada agente tendrá unas responsabilidades y unas restricciones de acceso a la información definidas en los documentos contractuales). Además, el reconocimiento geométrico del edificio es más preciso debido a las técnicas digitales de captura masiva

On the other hand, by projecting through a virtual model, it is almost impossible for the documentation extracted from the model to be inconsistent, since as the intervention is being virtually constructed, interferences or collisions between different disciplines are identified. The new flow also facilitates the transfer of information at all stages of the process.

In addition, key indicators have been defined to compare traditional workflows with BIM workflows. Through the data obtained in the questionnaires to the different agents, these indicators have been evaluated and a "BIM Factor" has been established. This BIM factor enables to assess the extent to which BIM can improve the predictability of work planning and its cost. It is clear that, depending on the level that has been followed in the BIM workflow, the improvements of both concepts vary: in a high-level BIM

Fig.3. Three-dimensional model of the construction phase of the pilot building 2. Source: Self-created view. 2021



de datos. El punto de partida para la redacción del proyecto es más fiel a la realidad.

Por otro lado, al proyectarse a través de un modelo virtual, resulta casi imposible que la documentación extraída desde el modelo no sea coherente ya que según se está construyendo virtualmente la intervención, se van identificando las interferencias o colisiones entre distintas disciplinas. El nuevo flujo también facilita la transferencia de información en todas las fases del proceso.

Además, se han definido unos indicadores clave que han permitido comparar los flujos de trabajo tradicionales con los flujos de trabajo BIM. A través de los datos obtenidos en los cuestionarios realizados a los diferentes agentes, se han valorado estos indicadores y se ha establecido un "Factor BIM". Este factor BIM permite ponderar en qué medida el BIM puede mejorar la previsibilidad de la planificación de obra y del coste de la misma. Está claro que, dependiendo del nivel que se haya seguido en el flujo de trabajo BIM, las mejoras de ambos conceptos varían: en un proceso BIM de alto nivel la previsibilidad de ambos conceptos mejora en gran medida los valores, haciendo que la empresa ajuste los plazos y los precios de sus intervenciones y mejorando su competitividad. Estos indicadores servirán para evaluar obras similares que vayan a ejecutarse en el futuro. La medición y evaluación que se hace a través de estos indicadores permite a la empresa una mejora continua de los procesos y optimizar el rendimiento de las obras y esto, a su vez, mejorará su competitividad.

El edificio piloto 2, desarrollado con BIM, ya cuenta con un modelo tridimensional enriquecido con todos los datos previos, además de toda la documentación generada en obra, y la información necesaria para hacer un buen uso y mantenimiento del edificio. Tener toda la información centralizada en un modelo es un punto de partida indiscutible para gestionar el edificio siguiendo las premisas establecidas en la filosofía de la construcción circular.

5. CONCLUSIONES

La complejidad de las rehabilitaciones deriva de la necesidad de intervención en edificios ya construidos que dificulta la gestión de todos los procesos implicados. El análisis del flujo de trabajo tradicional en este tipo de intervenciones ha permitido identificar algunos aspectos que el flujo BIM puede mejorar.

En una intervención de rehabilitación es muy importante recoger fielmente la realidad existente. En el estudio del edificio piloto 2 con flujo de trabajo BIM, el levantamiento exhaustivo del edificio existente a través de láser escáner ha permitido recoger la realidad del edificio con una precisión elevada. Por el contrario, la información geométrica recogida en el proyecto de ejecución, siguiendo el flujo de trabajo tradicional, no es completa. Se ha dibujado la plani-

process the predictability of both concepts greatly improves the values, causing the company adjust the deadlines and prices of its interventions and improving its competitiveness. These indicators will be used to evaluate similar works to be executed in the future. The measurement and evaluation made through these indicators will allow the company to continuously improve its processes, optimizing the performance of its works and this, in turn, will improve its competitiveness.

The pilot building 2, developed with BIM, already has a three-dimensional model enriched with all the previous data, in addition to all the documentation generated on site, and the necessary information to make a good use and maintenance of the building. Having all the information centralized in a model is an indisputable starting point for managing the building according to the premises established in the circular construction philosophy.

5. CONCLUSIONS

The complexity of renovations derives from the necessary intervention in already constructed buildings, which hampers managing all the processes involved. The analysis of the traditional workflow in this type of interventions has allowed us to identify some aspects that the BIM flow can improve.

In a rehabilitation intervention it is very important to faithfully reflect the current status. In the study of the pilot building 2 with BIM workflow, the exhaustive survey of the existing building through laser scanner has allowed to collect the current status of the building with a high accuracy. However, the geometric information collected in the execution project elaborated, following the traditional workflow, is not complete. The planimetry collected in the original project has been drawn without taking into account the modifications that the building has undergone since its completion. It is noteworthy the absence of viewpoints in the elevations of the planimetry included in the project for the current status. An inaccurate survey often implies readjustments during the construction phase that were not foreseen in the project. These readjustments contribute to time and cost deviations. According to some studies, the direct costs of these readjustments range from 3% to 23% of the contract value [9].

On the other hand, the intervention must be carried out when the building is in use. This implies inconveniences to the users, so reducing the affections is vital. Early coordination between the agents involved in the process is very important, allowing to reduce the discomfort caused by the intervention. In this context, the digitization of rehabilitation processes can boost this collaboration from the early stages of the process, improving cost efficiency and time savings [10]. The BIM workflow brings significant benefits as the involvement of all agents occurs from

metría recogida en el proyecto original sin tener en cuenta las modificaciones que ha sufrido el edificio desde su ejecución. Es destacable la ausencia de miradores en los alzados de la planimetría recogida en el proyecto para la fase existente. El levantamiento de estado actual poco preciso implica en muchas ocasiones reajustes en fase de obra no previstos en el proyecto. Estos reajustes contribuyen a la aparición de desvíos en los tiempos y los costes. Según algunos estudios, los costes directos de estos reajustes oscilan entre 3% y el 23% del valor de contrato [9].

Por otra parte, la intervención se debe realizar cuando el edificio está en uso. Esto implica molestias a los usuarios por lo que es conveniente reducir las afectaciones que puede generar una obra. La coordinación temprana entre los agentes que participan en el proceso es muy importante y permite reducir las incomodidades causadas por la intervención. En este contexto la digitalización de los procesos de rehabilitación puede impulsar la colaboración desde las primeras fases del proceso, mejorando la eficiencia de los costes y un ahorro de tiempo [10]. En este sentido, el flujo de trabajo BIM aporta beneficios importantes ya que la participación de todos los agentes se produce desde los primeros procesos.

Los documentos precontractuales del proyecto en el flujo de trabajo BIM permiten ajustar la intervención al perfil del cliente. Los requerimientos del cliente, en este caso los propietarios, se recogen en un documento EIR (Employer Information Requirements). Como respuesta al EIR la empresa constructora redactará el BEP (Building Execution Plan). Este documento recoge los roles y las responsabilidades de todos los agentes que participan en el proyecto en cada fase. Además, determina cómo y cuándo se van a hacer los entregables para cumplir los requisitos definidos en el EIR. El documento BEP favorece la comunicación y colaboración entre los agentes; evita demoras garantizando el cumplimiento de la planificación de la obra; garantiza una gestión transparente de los procesos. Todo ello asegura una ejecución eficiente, acabando los trabajos en tiempo y dentro del presupuesto.

El intercambio de información desde las fases tempranas permite realizar simulaciones constructivas de forma colaborativa. Arquitectos, constructora y subcontratas, y las empresas de suministro de materiales están en contacto y la asesoría se produce ya en la fase de diseño, evitando indefiniciones e incoherencias que pueden afectar a los plazos y los costes previstos. La simulación constructiva permite ajustar plazos y costes mejorando la competitividad en un mercado con una competencia muy intensa. Por otro lado, gracias a la simulación constructiva, la detección de colisiones entre distintas disciplinas es automática, evitando errores o repeticiones de tareas que conllevan sobrecostes o demoras en los plazos de ejecución.

the early processes.

The pre-contract documents of the project in the BIM workflow allow adjusting the intervention to the client's profile. The client's requirements, in this case the property, are collected in an EIR (Employer Information Requirements) document. In response to the EIR, the construction company will draft the BEP (BIM Execution Plan). This document sets out the roles and responsibilities of all the agents involved in the project at each stage. In addition, it determines how and when the deliverables will be made to meet the requirements defined in the EIR. The BEP document favors communication and collaboration between agents; avoids delays by guaranteeing compliance with the work planning; guarantees transparent management of the processes. All this ensures efficient execution, finishing the work on time and within budget.

The exchange of information from the early stages allows construction simulations to be carried out in a collaborative way. Architects, builders and subcontractors, and the materials supply companies are in contact and advice is provided as early as the design phase, avoiding uncertainties and inconsistencies that can affect deadlines and costs. Constructive simulation enables to adjust deadlines and costs, improving competitiveness in a market with very intense competition. On the other hand, thanks to the constructive simulation, the detection of collisions between different disciplines is automatic, avoiding errors or repetitions of tasks that lead to cost overruns or delays in the execution deadlines.

At the same time, it is possible to carry out a tighter scheduling and planning of the work from the design and pre-construction phase. Having a model linked to this planning allows, in the event of any modification, updating the work organization and planning. This results in a control and optimization of execution times, avoids duplications and interferences and even makes it possible to evaluate different work schedules through simulations of different scenarios, allowing to optimize the results and check their effectiveness before taking them to the construction site.

In the BIM workflow it is possible to link model measurements to budget. The advantages that BIM provides in terms of measurements and budgets are the following [11]: measurements are accurate and reliable at different project stages; if there are modifications in the model, the measurement updates are automatic; there is the possibility to generate reports, measurements and budgets, being able to generate different reports for different purposes; data transmission is done from the project phase, for use in successive phases (bidding, construction, fabrication, final status of measurements); it improves the visualization of the elements measured in the project or certified in the construction phase, being

A su vez, es posible realizar una programación y planificación de la obra más ajustada desde la fase de diseño y pre-construcción. Tener un modelo vinculado con esta planificación permite, ante cualquier modificación, actualizar la organización y planificación de obra. Esto deriva en un control y optimización de los tiempos de ejecución, evita duplicidades e interferencias e incluso posibilita evaluar distintas planificaciones de obra a través de simulaciones de escenarios diferentes permitiendo optimizar los resultados y comprobar su eficacia antes de llevarlos a la obra.

En el flujo de trabajo BIM es posible vincular las mediciones del modelo con el presupuesto. Las ventajas que aporta el BIM en cuanto a mediciones y presupuestos son las siguientes [11]: las mediciones son precisas y fiables en las diferentes etapas de proyecto; si se producen modificaciones del modelo las actualizaciones de la mediciones son automáticas; existe la posibilidad de generar informes, mediciones y presupuestos, siendo capaz de generar informes diferentes para diferentes fines; la transmisión de datos se hace desde la fase de proyecto, para su uso en fases sucesivas (licitación, construcción, fabricación, estado final de mediciones); mejora la visualización de los elementos medidos en proyecto o certificados en fase de obra, pudiendo recorrer la trazabilidad de dichas mediciones o certificaciones, reduciendo el tiempo de discusiones sobre éstas entre los distintos agentes en las fases de licitación o construcción; mejora la comunicación y colaboración entre los miembros del equipo; es posible explorar más fácilmente las diferentes opciones de diseño y conceptos desde el punto de vista del presupuesto; permite mejorar la gestión de la base de datos de costos, que es el propio modelo, reduciendo la pérdida de información, programando la fase de construcción; permite anticipar e informar, con un alto grado de precisión y rapidez las implicaciones en costes que tendrán las modificaciones y variaciones de proyecto: se resuelven con mayor agilidad y precisión las disputas y reclamaciones de contratistas; se evitan los precios contradictorios; aumenta la calidad del proyecto dando la mayor coherencia a los diferentes documentos de proyecto: planos, memoria, pliego de condiciones y presupuesto.

Un modelo bien estructurado y organizado permite obtener el importe de certificaciones parciales al origen de forma casi automática, así como a qué elementos del modelo pertenecen y su trazabilidad. El modelo es la fuente de los datos para obtener las certificaciones. A su vez, la vinculación de materiales que se van a emplear en obra (incluso su adquisición) con el modelo y con la planificación de obra va a permitir la planificación de pedidos, conocer las cantidades exactas y evitar desperdicios.

El modelo de construcción que se utiliza en el seguimiento de obra también permite extraer la información específica requerida en cada momento: desde

able to go through the traceability of such measurements or certifications, reducing the time of discussions about them between the different agents in the bidding or construction phases; improves communication and collaboration between team members; it is possible to assess more easily the different design options and concepts from the budget point of view; it allows to improve the management of the cost database, which is the model itself, reducing the loss of information, scheduling the construction phase; it allows to anticipate and report, with a high degree of accuracy and speed, the cost implications that project modifications and variations will have: disputes and claims from contractors are solved with greater agility and precision; contradictory prices are avoided; the quality of the project is increased by giving greater coherence to the different project documents: plans, specifications, specifications and budget.

A well-structured and organized model allows to obtain the amount of partial certifications at source almost automatically, as well as to which elements of the model they belong and their traceability. The model is the source of the data to obtain the certifications. In turn, the linking of materials to be used on site (including their acquisition) with the model and with the construction planning will allow order planning, knowing the exact quantities and to avoid waste.

The construction model used in the construction monitoring also allows the extraction of the specific information required at each moment: from the staking out plans at the beginning of the work, such as assembly plans for construction systems, specific plans requested by the trades, etc. At the end of the construction phase, the final construction documentation must be kept and delivered. BIM models allow direct access to all the documentation required in this phase. In addition to the documentation that can be generated after updating the model during the construction work (end-of-work planimetry, final settlements, etc.), it can also contain the information related to the controls performed or even include the necessary information that can be used during the entire useful life of the building.

In the traditional flow all this information is usually disconnected, without any arrangement or indexing, making it difficult to manage. In contrast, the BIM flow enables to relate the elements of a model to various documents: drawings, maintenance instructions, technical data sheets, information on system and material warranties. The documentation will be associated, better organized and more accessible. It is most recommended that this documentation be linked to the model through URL parameters that are in controlled internal repositories (the link to a web page may disappear over time). In addition, the BIM flow makes it possible to inventory in the model all the elements that require maintenance. With

los planos de replanteo de inicio de obra, como planos de montaje de sistemas constructivos, planos específicos solicitados por los gremios, etc. En la fase de fin de obra se debe custodiar y entregar la documentación final de obra. Los modelos BIM permiten tener acceso directo a toda la documentación requerida en esta fase. Además de la documentación que se puede generar tras la actualización del modelo durante la obra (planimetría fin de obra, liquidaciones finales, etc.), también puede contener la información relacionada con los controles realizados o incluso puede incluir la información necesaria que pueda servir durante la vida útil completa del edificio.

En el flujo tradicional toda esta información suele estar desconectada, sin ninguna ordenación o indexación, dificultando su gestión. En cambio, el flujo BIM permite relacionar los elementos de un modelo con diversos documentos: planos, instrucciones de mantenimiento, fichas técnicas, información sobre garantías de sistemas y materiales. La documentación estará asociada, mejor ordenada y más accesible. Lo más recomendable es que esta documentación esté vinculada al modelo a través de parámetros URL que estén en repositorios internos controlados (el vínculo a una página web puede desaparecer con el tiempo). Además, el flujo BIM permite inventariar en el modelo todos los elementos que requieren un mantenimiento. Con el modelo de inventario se podrán gestionar los mantenimientos preventivos a través de listados y tablas de planificación que vayan advirtiendo sobre la necesidad de realizar inspecciones periódicas previstas para este fin.

No obstante, el paso del flujo tradicional al flujo BIM tiene algunas dificultades. El uso de un software específico implica una inversión inicial. Además, el peso que van adquiriendo las nubes de puntos y los modelos enriquecidos hacen que el hardware utilizado hasta el momento no tenga la capacidad suficiente para gestionar tanta información. Por otra parte, es imprescindible invertir en la formación de los agentes que participan en el proceso para que la implementación del flujo BIM sea satisfactoria. De hecho, existen nuevos roles con nuevas funciones y responsabilidades como el técnico BIM de mantenimiento o el jefe virtual de obra que no han tenido la preparación adecuada para desplegar el flujo BIM en todas las fases y obtener los beneficios previstos.

Otro obstáculo en el camino de la implementación de las tecnologías BIM es el conservadurismo del ámbito de la construcción ya que la mayoría de las empresas de construcción no pueden aprovechar plenamente las ventajas del flujo de trabajo BIM. La implantación del BIM también se ve afectada por la estructura del mercado y el tamaño de las empresas. Las grandes empresas ya han comenzado a implementar el nuevo flujo de trabajo, sin embargo, las PYMES de toda la cadena de valor tienen una experiencia limitada en BIM.

the inventory model, preventive maintenance can be managed through lists and planning tables that warn about the need to carry out periodic inspections planned for this purpose.

However, the transition from the traditional flow to the BIM flow has some difficulties. The use of specific software implies an initial investment. In addition, the increasing weight of point clouds and enriched models means that the hardware used up to now does not have sufficient capacity to manage so much information. On the other hand, it is essential to invest in the training of the agents involved in the process so that the implementation of the BIM flow is satisfactory. In fact, there are new roles with new functions and responsibilities such as the BIM maintenance technician or the virtual site manager who have not had adequate preparation to deploy the BIM flow in all phases and obtain the expected benefits.

Another obstacle in the way of implementing BIM technologies is the conservatism of the construction field as most construction companies are not able to take full advantage of the benefits of the BIM workflow. The implementation of BIM is also affected by the market structure and size of the firms. Large companies have already started implementing the new workflow, however, SMEs across the value chain have limited experience in BIM.

In this context, it should be the public administration that promotes the use of BIM in this type of companies. According to the BIM observatory of the Building Smart Spanish Chapter during 2019 both the quantity and quality of documents with BIM requirements by Public Administrations has increased significantly. In 2020, taking into account the impact that the pandemic generated by COVID-19 may have had, the upward trend of tenders with BIM requirements will continue, reaching a total amount of €749 million [12].

Therefore, in order to position oneself in this rapidly evolving landscape, it is necessary to align with the acceleration of the market. Seizing opportunities and avoiding future long-term setbacks is essential.

En este contexto, debe ser la Administración Pública quien impulse el uso del BIM en este tipo de empresas. Según el observatorio BIM del Building Smart Spanish Chapter durante 2019 ha aumentado de forma significativa tanto la cantidad como la calidad de pliegos con requisitos BIM por parte de las Administraciones Públicas. En 2020, teniendo en cuenta la incidencia que ha podido tener la pandemia generada por el COVID-19, se mantiene la tendencia al alza de las licitaciones con requisitos BIM, alcanzando un importe total de 749 millones de € [12].

Por lo tanto, para posicionarse en este panorama de rápida evolución, es necesario alinearse con la aceleración del mercado. Es esencial aprovechar las oportunidades y evitar futuros contratiempos a largo plazo.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Peuportier, B., & Putzeys, K. (2010). PRESCO, WP2 intercomparison and benchmarking of LCA-based environmental assessment and design tools for buildings. Final report. 2005
- [2] Etxepare, L., Leon, I., Sagarna, M., Lizundia, I., & Uranga, E. (2020). Advanced Intervention Protocol in the Energy Rehabilitation of Heritage Buildings: A Miñones Barracks Case Study. *Sustainability* 12 (2020) 1-33. <https://doi.org/10.3390/su12156270>
- [3] European Comission. European Construction Sector Observatory. Building Information Modelling in the EU construction sector. 2019
- [4] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, I. John Wiley & Sons, Ed., Hoboken, New Jersey, 2011.
- [5] Love, P. E., Matthews, J., Simpson, I., Hill, A., & Olatunji, O. A.. A benefits realization management building information modeling framework for asset owners, *Automation in Construction* 37, (2014), 1-10, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.007>
- [6] Rodger E. Edwardsa, E. L.. Sustainability-led design: Feasibility of incorporating whole-life cycle energy assessment into BIM for refurbishment projects. *Journal of building Engineering* 24, (2019), 1-7 <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.01.027>
- [7] Xiong, B. A.. Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. *Automation in Construction* 31, (2013), 325-337. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.006>
- [8] I Jordan-Palomar, P. T.-V.. Protocol to manage heritage-building interventions using heritage building information modelling (HBIM). *Sustainability* 10, (2018), 1-19, <https://doi.org/10.3390/su10040908>
- [9] Love, P. E.. A rework reduction model for construction projects. *IEEE Transactions on Engineering Management* 51, (2004), 426-440. <https://doi.org/10.1109/TEM.2004.835092>.
- [10] Mohamed Elagiry, V. M.. BIM4Ren: Barriers to BIM Implementation in Renovation Processes in the Italian Market. *Buildings* 9, (2019), 1-17. <https://doi.org/10.3390/buildings9090200>
- [11] es.BIM. Guía de uso de modelos para gestión de costes. Guía de uso de modelos para control de costes. 2018
- [12] Aparicio, F. B. Guía BIM para propietarios y gestores de activos. Building Smart Spanish Chapter. 2020.

Performance gap in energy retrofitting of social housing: comparison of two case studies in Southern Europe

Brecha energética en la rehabilitación de vivienda social: comparación de dos casos estudio en el sur de Europa

Inés Díaz Regodón¹, Andrea Sangalli², Javier Llorente¹

ABSTRACT

Efficient urban renovation and efficient energy retrofitting have become a priority for many municipal administrations in order to achieve the ambitious energy and environmental objectives set by the European Union. But for a real accomplishment, it is necessary to evaluate the effectiveness of the strategies that facilitate the transformation of existing buildings towards nearly zero energy buildings.

In the context of EU-GUGLE project, a European six year (2013-2019) collaborative project within the 7th Framework program, over 150.000 m² of residential buildings were retrofitted, with a total investment of more than 80M€, demonstrating different sustainable energy technologies and techniques implemented in 36 lighthouse buildings, and set of buildings, located in Austria, Finland, Germany, Italy, Slovakia and Spain.

In Sestao (Spain) a deep urban renovation is being carried out, through the "Plan Especial de Rehabilitación Integrada" of the area of Txabarri-El Sol, led by Sestao Berri agency. The key aspects of one of the successful energy retrofitted buildings were based on sustainable materials, the integration of biomass and the inclusion of a new prepaid energy management system supported by smart meters and a data platform.

In Milan (Italy), a large public building located in the outskirts of the city, owned by the Municipality of Milan, has been a replicated model for the "Zero case vuote", a local plan for public residential buildings. This building underwent a mayor energy refurbishment which included the thermal improvement of the envelope, centralization of the DHW and heating system, followed by the connection to the district heating network, the installation of a centralized mechanical ventilation system and in a later phase, the installation of an exhaust-air heat pump for the production of DHW.

A post-occupancy evaluation of the retrofitted buildings was performed after one year (Sestao case study) and two years (Milan case study) of energy monitoring. In both cases, high energy savings were obtained compared to the pre-retrofit situation, however the analysis showed a meaningful difference between calculated energy use and measured values after the implementation of the energy efficiency measures. In Sestao the measured energy use for heating was less than expected, while in Milan the energy use for heating was more than expected. These two case studies represent two different approaches dealing with energy retrofitting of social housing and low-income tenants. The study releases potential hypothesis regarding technical and social aspects involved in the causes of these performance gaps.

Key Words: Building energy retrofitting, occupant behavior, performance gap, billing methods

(1) Energy in buildings department, National Renewable Energy Centre of Spain CENER, c/ Ciudad de la Innovación 7, 31621 Sarriguren (Navarra)

(2) End-use Efficiency Research Group, Energy Department (DENG), Politecnico di Milano, 20156 Milano, Italy.

1. INTRODUCCIÓN

La renovación urbana eficiente y la rehabilitación energética de edificios se han convertido en una prioridad para muchas administraciones municipales con el fin de alcanzar los ambiciosos objetivos energéticos y medioambientales de la Unión Europea. Pero para que su cumplimiento sea real, es necesario evaluar la efectividad de las estrategias que facilitan la transformación de los edificios existentes hacia edificios de energía casi nula.

En el contexto del proyecto EU-GUGLE [1], de seis años de duración (2013-2019), financiado parcialmente por la UE dentro del marco del 7º Programa marco de investigación, se han rehabilitado más de 150.000 m² de vivienda, con una inversión total superior a 80M€, demostrando diferente soluciones tecnológicas sostenibles implantadas en 36 edificios, o conjunto de edificios ubicados en Austria Finlandia, Alemania Italia, Eslovaquia y España.

En general existe un consenso en la literatura académica en que el comportamiento de los usuarios es un factor determinante en el consumo de energía de calefacción de los edificios [2]. La diferencia entre el consumo de energía calculado y el consumo real, medido, se denomina comúnmente "brecha de rendimiento" ("performance gap" en inglés) y ésta puede ser positiva o negativa. La brecha de desempeño positiva, conocida como efecto "rebote" ("rebound effect" en inglés), tiende a ocurrir en viviendas de bajo consumo energético, cuando los ocupantes consumen más energía de lo esperada, mientras que la negativa se produciría cuando los ocupantes consumen menos energía de lo previsto.

Dos ejemplos sobresalientes de rehabilitación profunda de edificios se llevaron a cabo en Sestao (Vizcaya, España) y Milán (Italia) dentro del proyecto EU-GUGLE.

Después de uno/dos años de monitorización de consumos -2018-2021- (2018 en Sestao y 2015-2016 en el caso de Milán) el primer análisis post-ocupacional que se realizó en el proyecto EU-GUGLE mostró una brecha o diferencia entre la energía medida y la calculada. En el caso español, el consumo de energía medido para calefacción es menos de lo esperado (según los cálculos de simulación), mientras que en el caso italiano el consumo de calefacción es mayor del esperado.

Estos dos casos de estudio representan dos enfoques diferentes relacionados con la rehabilitación energética de viviendas sociales e inquilinos de escasos ingresos. El estudio investiga posibles hipótesis relacionadas con aspectos técnicos y sociales causantes de la brecha entre los ahorros de energía esperados (calculados) y los reales (medidos).

1. INTRODUCTION

Efficient urban renovation and building energy retrofitting have become a priority for many municipal administrations in order to achieve the ambitious energy and environmental targets of the European Union. But for a real accomplishment, it is necessary to evaluate the effectiveness of the strategies that facilitate the transformation of existing buildings towards nearly zero energy buildings.

In the context of EU-GUGLE project [1], a European six year (2013-2019) collaborative project within the 7th Framework program, over 150.000 m² of residential buildings were retrofitted, with a total investment of more than 80M€, demonstrating different sustainable energy technologies and techniques implemented in 36 lighthouse buildings, and set of buildings, located in Austria, Finland, Germany, Italy, Slovakia and Spain.

It is generally well accepted in the academic literature that occupant behavior is a major determinant of the energy use for space heating [2]. The difference between the calculated energy consumption and the actual measured consumption is commonly referred as "performance gap" and this can be positive or negative. Positive performance gap, or so-called "rebound" effect, tends to occur for low-energy dwellings, where occupants use more energy than expected, whereas the negative one would indicate the phenomenon that occurs when occupants consume less than expected.

Two outstanding examples of deep building renovation were performed in Sestao (Biscay, Spain) and Milan (Italy) in the context of EU-GUGLE, project.

After one to two years data monitoring (2018 in Sestao, 2015-2016 in Milan) the first post-occupancy analysis carried out within EU-GUGLE project showed a performance gap between measured and calculated energy use. In the Spanish case study the measured energy use for heating is less than expected (according to simulations), while in Milan the energy use for heating is more than expected.

These two case studies represent two different approaches dealing with energy retrofitting of social housing and low-income tenants. The study potential hypothesis regarding the technical and social aspects involved in these causes of the gap between the expected (calculated) energy savings and the actual (measured) ones.

2. DESCRIPTION OF THE SPANISH CASE STUDY

Five residential building complexes constitute the 19.143 m² of housing, 232 dwellings, which have been refurbished within the context of the EU-GUGLE project in the city of Sestao (Biscay, Spain). They

2. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO ESPAÑOL

Cinco conjuntos de edificios residenciales constituyen los 19.143 m² de viviendas, 232 viviendas, que se han rehabilitado en el marco del proyecto EU-GUGLE en la ciudad de Sestao (Vizcaya, España). Forman parte también del “Plan Especial de Rehabilitación Integrada”, una estrategia de rehabilitación urbana en la zona de Txabarri-El Sol y que lidera la sociedad pública Sestao Berri.

El edificio objeto del estudio es uno de los bloques de pisos construidos durante la era industrial de finales del s. XIX para alojar a los trabajadores de la metalurgia. La rehabilitación respetó las fachadas y la estructura de madera. El edificio no tenía aislamiento térmico ni ningún sistema de calefacción. El agua caliente sanitaria se suministraba mediante calderas eléctricas individuales. La rehabilitación amplió la superficie útil acondicionando el espacio bajo cubierta (la superficie total es de 3.828,91 m² que incluye 47 viviendas). Aparte del Proyecto EU-GUGLE, las obras recibieron una subvención del Gobierno Vasco.

Las principales medidas de eficiencia energética que se han implementado en el edificio incluyen la incorporación de aislamiento térmico en la envolvente (80 mm de aislamiento térmico por el interior $-U=0,35$ W/m²K-; 140 mm de SATE en las fachadas no protegidas $-U=0,2$ W/m²K-; 120 mm de aislamiento en la nueva cubierta inclinada $-U=0,30$ W/m²K-; 40 mm de aislamiento en el primer forjado de vivienda $-U=0,64$ W/m²K-), la sustitución de las ventanas existentes por ventanas de doble acristalamiento, la instalación de un sistema de ventilación mecánica con recuperación del calor (80%) y la instalación de un sistema centralizado de biomasa para ACS y calefacción (2 calderas, $\mu=0,85$). Las obras concluyeron en 2017 (ver Fig. 1).

Inicialmente se instaló en el edificio un sistema centralizado de biomasa para el suministro de ACS y calefacción con idea de conectar el edificio en un futuro a la red de calefacción urbana de biomasa que se estaba diseñando en la zona en ese momento. Aparte del edificio objeto de estudio, se rehabilitaron 185 viviendas más en el barrio y se conectaron a la primera fase de la red de calefacción urbana en el marco del proyecto EU-GUGLE. Para la generación del sistema de calefacción urbana se instalaron dos calderas de pellets (500 kW y 250 kW) y una tercera caldera de gas de apoyo (650 kW). La sala de calderas, el silo de biomasa y las chimeneas de evacuación de humos se han ubicado en una plaza cercana donde se ha acometido una rehabilitación urbana (ver Fig.2).

En una segunda fase posterior, se han incorporado recientemente 200 viviendas más a la red de calefacción urbana, incluido el edificio caso de estudio.

are also part of the “Plan Especial de Rehabilitación Integrada”, a deep urban renovation strategy in the area of Txabarri-El Sol, led by Sestao Berri agency.

The case study is one of the blocks of apartments erected in the area for workers during the industrial era of the late XIX century. In this building, the façades and the wooden structure were maintained. The existing building did not have any thermal insulation or heating systems. DHW was supplied by individual electric boiler units. The existing building extended the usable area with this renovation, conditioning the space under the roof (the total area is 3.828,91 m² which includes 47 dwellings). In addition to EU-GUGLE project, these renovation works were also partially funded by a Basque Country’s regional subsidy.

The main energy efficiency measures include the addition of thermal insulation in the building envelope (80 mm of internal insulation on listed façades $-U=0,35$ W/m²K-; 140 mm ETICS on non-protected façades $-U=0,2$ W/m²K-; 120 mm on new pitched roof $-U=0,30$ W/m²K-; 40 mm on first floor $-U=0,64$ W/m²K-), replacement of existing windows by double-glazed windows, the installation of a mechanical ventilation with a heat recovery system (80%) and the installation of biomass centralized system for DHW and heating (2 boilers, $\mu=0,85$). Refurbishment works were completed in 2017 (see Fig. 1).

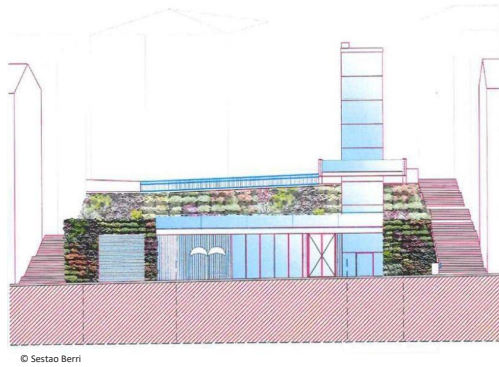
A centralized biomass system was initially installed in the building to supply DHW and heating with the intention of connecting in the future to the biomass district heating that was being designed in the area at that moment. Additional 185 dwellings were refurbished in the neighborhood and connected to the first phase of the district heating under EU-GUGLE project. The generation of the district heating consisted of two pellet boilers (500 kW and 250 kW) and a third gas boiler (650 kW). A nearby square has been deep renovated to accommodate the boiler room, the biomass silo and the smoke evacuation chimneys (see Fig.2).

In a later second phase, 200 more dwellings have been recently joined the district heating network,



Fig. 1. Spanish case study after renovation works (source: Sestao Berri)

Fig.2.
Spanish case study after
renovation works (source:
Sestao Berri)



Respecto a los residentes, una cuarta parte de las viviendas del edificio están ocupadas por sus antiguos propietarios, de antes de la remodelación. El resto de viviendas fueron adquiridas por el Gobierno Vasco, el Ayuntamiento de Sestao y la sociedad Sestao Berri. Estas se ofrecen como vivienda de protección oficial VPO. Las campañas de encuestas lanzadas en el contexto del proyecto EU-GUGLE [3] mostraron que alrededor del 60% de los entrevistados, residentes en el estudio de caso y en otros edificios que se iban a rehabilitar, ganaban hasta 1000 € al mes.

Las 47 viviendas del edificio se distribuyen en cuatro portales. Un cuarto de ellas son viviendas de cuatro habitaciones, incluyendo la sala de estar, cuya superficie útil varía entre 83 m² y 93 m². La mayoría de los apartamentos son de dos o tres habitaciones con una superficie de entre 38 m² y 55 m².

2.1 Gestión energética. Monitorización de los consumos y condiciones interiores.

Teniendo en cuenta la situación de vivienda social del edificio, el ayuntamiento optó por la implantación de un modelo energético prepago para gestionar los consumos de agua fría, ACS y calefacción. Este sistema prepago está respaldado por una plataforma on-line para el registro y la gestión de los datos de consumo monitorizados.

El sistema de monitorización está compuesto por módulos de contadores instalados en los circuitos de suministro de cada vivienda para medir la energía térmica de calefacción, con contador de calor, y

including the pilot case study.

Regarding the occupants, a quarter of the dwellings of the case study building are owner-occupied before and after refurbishment. The rest of dwellings were acquired by the Basque Government, Sestao city council and Sestao Berri agency. They are offered as VPO social housing ("vivienda de protección oficial"). Survey campaigns launched in the context of EU-GUGLE project [3] showed that around 60% of interviewees living in the case study and the other buildings to be refurbished, earned up to 1000 € per month.

The 47 dwellings of the building are distributed in four stories. A quarter of them are four-room apartments whose usable floor area varies from 83 m² to 93 m². The majority of them are two or three-room apartments with a usable surface ranging from 38 m² to 55 m².

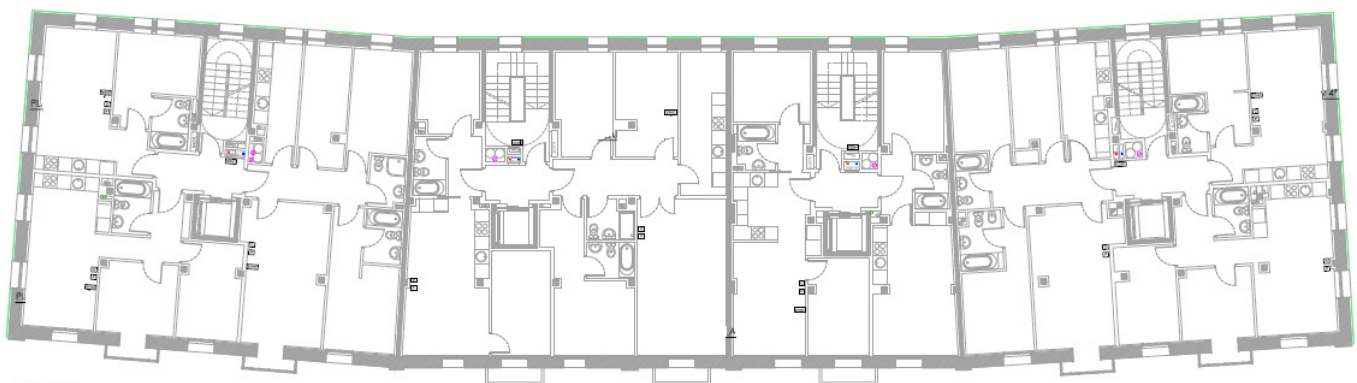
2.1 Energy management. Monitoring of energy use and indoor conditions

The city council opted for the installation of a prepaid energy system to manage cold water, DHW and heating consumptions due to the status of social housing of the building. This prepaid system is supported by a platform for the registration and management of measured consumption data.

The monitoring system is composed of integrated meter boxes installed in the manifolds of each apartment to measure thermal energy, with a heat meter, and volumetric meters for DHW and cold water consumption. Through individual displays, placed in the living room of each apartment, the end-user can visualize the measured consumptions in real time and the credit balance (of money) to pay the energy bill. An alert pops up when the credit balance is at 10€ or lower and the supply service stops when the balance is at -10€. In addition, comparisons can be made between tenant's consumptions or comparing to the average consumption of their neighbors in order to encourage energy savings and efficiency.

This online platform (Fig.4), among other capabi-

Fig.3.
Plan of the building type
floor.



contadores volumétricos para el consumo de ACS y agua fría. El sistema permite encender la calefacción dentro del horario disponible y programar la temperatura interior a través del cronotermostato colocado en el salón. A través de pantallas individuales, colocadas en el salón de cada apartamento, el usuario puede visualizar los consumos medidos a tiempo real y el saldo disponible (de dinero) para pagar la factura de energía. Cuando el saldo llega a 10 € o menos salta un aviso de advertencia y cuando llega a -10 € el servicio de suministro se detiene. Además, se pueden realizar comparaciones con el consumo de otros inquilinos o compararse con el consumo medio de sus vecinos, con el fin de fomentar el ahorro y la eficiencia energética.

La plataforma online (Fig.4), permite no solo visualizar, recoger los datos y transformarlos en las correspondientes facturas de energía para los usuarios finales, sino también reportar incidencias y alarmas a la empresa de servicio de mantenimiento de la instalación térmica.

El mantenimiento de la plataforma se subcontrata junto con la gestión de los gastos energéticos (balance mensual entre pagos y gastos) y posterior elaboración de facturas energéticas, que se envían a los usuarios finales.

3. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO ITALIANO

El caso de estudio italiano es un gran edificio público residencial, que es propiedad del Ayuntamiento de Milán, y que se localiza en la periferia de la ciudad. El edificio consta de cinco pisos en los que se encuentran 154 viviendas, de las cuales, más o menos la mitad son pequeños apartamentos de dos habitaciones de unos 40 m², y el resto son apartamentos de cuatro habitaciones, con una superficie que varía de los 65 m² a los 85 m², para un total de 11.000 m² construidos (Fig.5).

ities, allows not only to view, collect the data and transform them into the corresponding energy bills for end-users, but also to report incidents and alarms to the maintenance service company of the thermal installation.

The maintenance of the platform is outsourced together with the management of energy expenses (monthly balanced between payments and expenses) and subsequent preparation of energy bills, which are sent to end-users.

3. DESCRIPTION OF THE ITALIAN CASE STUDY

The Milan case study is a large public residential building (ERP), owned by the Municipality of Milan, located in a context of marked urban and social periphery [5]. The building consists of five floors above ground, with 154 apartments, about half of which are small two-room apartments of about 40 m², and the rest four-room apartments with a surface ranging from 65 m² to 85 m², for a total of about 11.000 m² of gross floor area (Fig.5).

Since 2013, the building has undergone a major energy refurbishment and removal of asbestos, carried out by the Municipality of Milan with co-funding from EU-GUGLE project and a contribution from the national incentive scheme "Conto Termico". The original building was characterized by poor energy performance of the envelope and by obsolete mechanical systems, with resulting thermal discomfort (low air temperatures and radiant temperatures in winter) and low air quality (diffuse presence of mold). The renovation works focused first on improving the quality of the envelope and on the renewal of the heating system. The interventions included the installation of thick external insulation, lowering the average U-value of external walls and roof (respectively from 0,84 to 0,19 W/(m²K) and from 2,19 to 0,33 W/(m²K)); replacement of existing

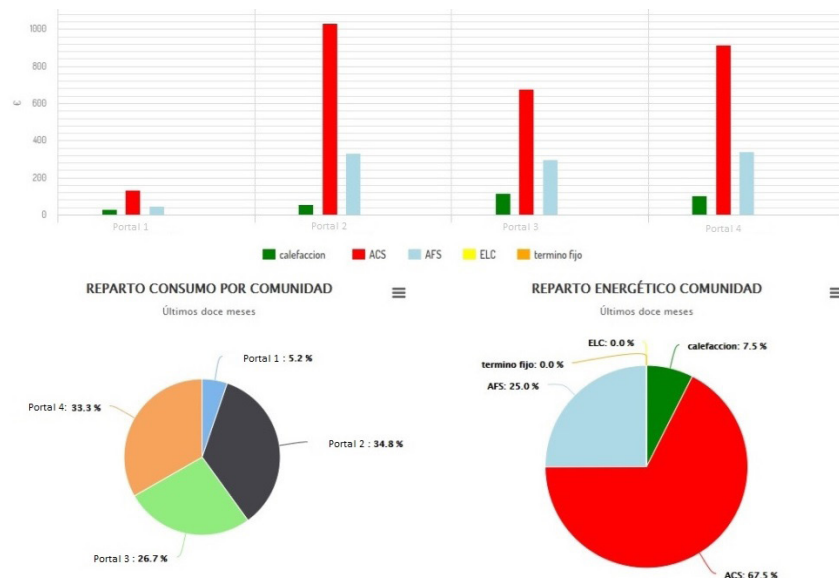


Fig.4. Energy management platform [4].

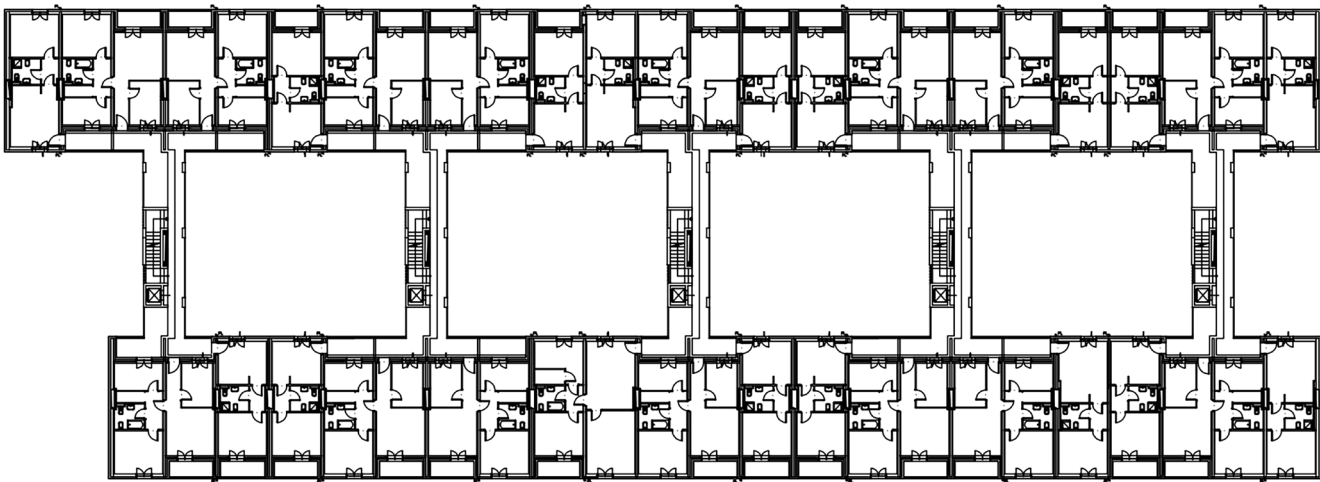


Fig.5.
Plan of the building type
floor (source: Comune di
Milano).

Desde 2013, el edificio ha sido objeto de una amplia rehabilitación energética que ha incluido la eliminación del amianto existente y ha sido llevada a cabo por el Ayuntamiento de Milán, con la co-financiación del proyecto EU_GUGLE y una contribución del programa nacional de ayudas "Conto Termico". El edificio original se caracterizaba por un deficiente aislamiento de la envolvente térmica y por sistemas mecánicos obsoletos que causaban un discomfort térmico (bajas temperaturas de aire y radiantes en invierno) así como una baja calidad del aire (presencia de moho). Los trabajos de renovación se centraron en primera instancia en la mejora de la calidad de la envolvente y en la renovación de los sistemas de producción térmicos. Las intervenciones incluyeron la colocación de una gruesa capa de aislamiento por el exterior para reducir el coeficiente de transferencia térmica (U) de muros de fachada y cubierta (respectivamente de 0,84 a 0,19 W/(m²K) y de 2,19 a 0,33 W/(m²K)); la sustitución de las ventanas existentes por otras con vidrio doble (reducción de U de 3,75 a 1,42 W/(m²K)); centralización de la producción de agua caliente sanitaria, así como de la calefacción, además de la conexión a la red de district heating (Fig.6). En cada vivienda se instalaron un crono-termostato y válvulas termostáticas en los radiadores, sólo por temas de control (la facturación no se basa en el consumo individualizado registrado). Se instaló también un sistema de ventilación mecánica centralizado que funciona extrayendo aire a través de las aperturas ubicadas en los baños, pudiendo entrar el aire limpio a través de las aperturas situadas en la fachada. El sistema funciona a baja velocidad y flujo constante.

En el año 2014, al final de la primera fase de los trabajos, las viviendas se fueron asignando a los inquilinos; sin embargo las familias que ocuparon las viviendas no eran las mismas que las que ocuparon el edificio antes de la rehabilitación. Actualmente, la comunidad que vive en el edificio consta de unas 500 personas, la mayoría ancianos italianos y familias de primera generación de inmigrantes. El 30% de los habitantes tienen menos de 15 años – una comu-

windows with double-glazed ones (U-value lowered from 3,75 to 1,42 W/(m²K)); centralization of hot water production as well as heating, followed by the connection to the district heating network (Fig.6). In each apartment a chrono-thermostat and standalone thermostatic valves have been installed on the radiators, for control purposes only (billing is not based on individually metered consumption). A centralized mechanical ventilation system has also been installed, which operates in extraction only, with extraction vents placed in the bathrooms and fresh air entering the apartments through intake vents placed on the façade. The system works with constant flow and at low speed.

In 2014, at the end of this first phase of the works, the apartments were progressively assigned to the tenants; however, the families were not the same ones previously occupying the building. At present, the community that resides in the building consists of about 500 people, mostly elderly Italians and families of first-generation immigrants. 30% of the inhabitants are under the age of 15 – a particularly young community compared to the average of the public housing in Milan. 60% of the families are foreign, including more than 30 different nationalities. In all families, at least the head of the family can speak Italian.

In 2014 the building was certified "class B" according to the Italian energy performance classification, with a calculated total primary energy use for heating of 34 kWh/(m² yr).

Complementing the energy savings achieved during the first phase of the works, in 2016 a further retrofit measure was undertaken, with innovative characteristics compared to the standard renovations of public buildings in Italy. The new system allows the recovery of heat from the air extracted from the rooms, through the mechanical ventilation system, conveying it on the evaporator of an air-water heat pump that preheats the water of the aqueduct, upstream of the domestic hot water circuit. Photovol-

nidad particularmente joven en comparación con el promedio de la vivienda pública en Milán. El 60% de las familias son de origen extranjero, incluyendo más de 30 nacionalidades diferentes. En todas las familias, al menos el cabeza de familia puede hablar italiano.

En 2014, el edificio se certificó obteniendo la "clase B" de acuerdo con la clasificación de eficiencia energética italiana, con un consumo de energía primaria total de calefacción calculado de 34 kWh/(m² año).

Además de los ahorros energéticos logrados durante la primera fase de los trabajos, en 2016 se implementó una nueva medida de mejora de eficiencia energética, con características innovadoras en comparación con las rehabilitaciones energéticas de edificios públicos en Italia. Se instaló un sistema que permite la recuperación de calor del aire extraído de las habitaciones a través del sistema de ventilación mecánica, transportándolo al evaporador de una bomba de calor aire-agua, que pre-calienta el agua caliente sanitaria. Se instalaron también paneles fotovoltaicos para suministrar electricidad a la bomba de calor, y a las zonas comunes del edificio (siendo de esta manera, el primer edificio público residencial con paneles fotovoltaicos en Milán).

3.1 Gestión Energética. Monitorización del consumo de energía y condiciones interiores.

No se dispone de información precisa basada en mediciones sobre el consumo de energía antes de la rehabilitación. El edificio estuvo desocupado durante más de una década debido a la presencia de amianto, al proceso de eliminación del mismo y a las obras de rehabilitación. La documentación relativa al estado anterior de la rehabilitación no está disponible.

Durante los trabajos de renovación, completados en 2014, un contador de consumo de energía térmica se instaló en cada apartamento, en el circuito de calefacción. El contador de energía consiste en dos sondas de temperatura Pt 500 (una se coloca en la ida del circuito de calefacción y la otra en el retorno) y un caudalímetro (Tabla I, izquierda).

Por tanto, el contador de energía mide la energía térmica que se requiere para alcanzar y mantener los valores de temperatura del aire fijados en el cro-



Fig.6.

Italian case study during renovation works (source: Arch. Manzoni e Bardeschi, Comune di Milano)

taic panels were also installed to supply electricity to the above-mentioned heat pump and to the common parts of the building (thus becoming the first public residential building with photovoltaic panels in Milan).

3.1 Energy management. Monitoring of energy use and indoor conditions

No accurate information, based on measurements, about the pre-retrofit state is available. The building has remained unoccupied for more than a decade due to the diffuse presence of asbestos, the process of removal and the subsequent retrofit; the documentation pre-retrofit is no longer available.

During the renovation works, completed in 2014, a thermal energy meter was installed in each apartment, on the heating manifold; the meter consists of two Pt 500 temperature sensors (one on the supply circuit and one on the return circuit) and an ultrasonic volumetric flow meter (Table I, left).

Hence the meter measures the thermal energy required to reach and maintain the value of air temperature set on the chrono-thermostat; this value corresponds approximately to the "energy need for space heating" according to the terminology of ISO 52016-1: 2017 [8].

Remarkably, the tenants don't have access to this data nor receive information about their energy use for heating and domestic hot water in their bills.

Regarding environmental monitoring, since 2016, temperature, humidity and CO₂ sensors have been installed in 17 apartments (Table I, right). The environmental data are recorded hourly and can be ac-

Energy meter: Kamstrup SVM F25 [6]		Indoor environment sensor: Capetti WineCap WSD00TH5CO [7]			
Temperature sensor	Pt 500	Temperature	Relative humidity	CO ₂ concentration	
Volumetric flow sensor	Class 2	Sensor type	Capacitive	Infrared	
Interval of temperature	15 – 130 °C	Range	0% – 100% RH	0 – 5000 ppm	
Resolution	1 kWh, 0.01 m³	Accuracy	±5% at 25 °C and 50% RH	< ±50 ppm in the interval 0 – 5000 ppm	
			±0,2 °C in the interval 0 °C – 60 °C		

Table.1.

Technical characteristics of the sensors, consumptions (monitored in 2018) and calculated consumptions (before and after retrofitting). Spanish case study.

no-termostato; este valor corresponde aproximadamente con la “demanda de calefacción” de acuerdo con la terminología de la ISO 52016-1: 2017 [8].

Es necesario destacar que los inquilinos no tienen acceso a los datos registrados por los contadores de energía, ni reciben información acerca de su consumo de calefacción o ACS en sus facturas.

Acerca de la medición de las condiciones del ambiente interior, en 2016 se instalaron sensores de temperatura, de humedad y de CO₂ en 17 apartamentos (Tabla I, derecha). Los datos de las condiciones interiores, se registran cada hora y se recogen en una plataforma con acceso protegido con contraseña a la que pueden tener acceso de manera remota el propietario del edificio y los investigadores. Como se ha comentado, los inquilinos no tienen acceso a estos datos.

4. ANÁLISIS DE LOS AHORROS ENERGÉTICOS

4.1 Caso de estudio español

Como se ha avanzado anteriormente, en el contexto del proyecto EU-GUGLE se realizó una primera evaluación post-ocupacional tras un año de monitorización de consumos (2018), cuando en torno a la mitad de las familias vivían en el edificio. Dado que antes de la rehabilitación no había ningún sistema de calefacción, se calcularon previamente las demandas y el ahorro de consumo de energía mediante herramienta de simulación dinámica considerando patrones de uso estándar y temperaturas de consigna de acuerdo con la regulación española (CTE DB-HE [9]).

Gracias a las obras de rehabilitación, la demanda de calefacción se redujo un 63% y se estimó un 72% de ahorro en el consumo de calefacción en comparación con el estado previo a la remodelación.

Sin embargo, el análisis de monitorización reveló reducciones significativamente mayores a los cal-

culated remotely by the building owner and building manager and by researchers, through access to an online platform, protected by a password. Also for these data, tenants don't have access to the data-base.

4. ANALYSIS ON ENERGY SAVINGS

4.1 Spanish case study

As previously mentioned, in the context of the EU-GUGLE project a post-occupancy evaluation of the retrofit building was performed after one year of monitoring data (2018), when about half of the families lived in the building. Since there was not any heating system in the pre-retrofit building, energy need and energy use savings had been previously calculated using a dynamic simulation tool based on standard occupant patterns and set-points according to the Spanish energy regulation (CTE DB-HE [9]).

Thanks to the renovation works, energy need for heating was decreased 63% from the former situation and 72% of energy use savings for heating were estimated in comparison to the pre-retrofit status.

However, the monitoring analyses revealed significantly higher reductions [10] due to the fact that tenants scarcely turned on the heating system or only lasted for short time periods [11].

The average measured energy use for heating during that first year was only 4 kW/h/m²y, much less than expected, 20 kWh/m²y (according to hourly energy simulations calculated with the DesignBuilder software) (Fig.7).

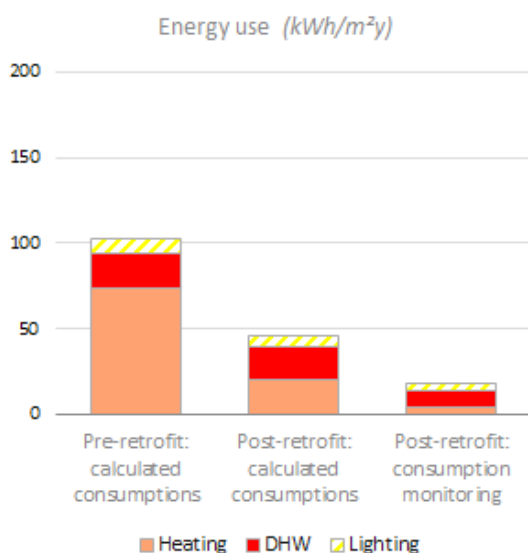
Different reasons can cause the performance gap between measured and calculated energy use for heating. These reasons can involve technical, social, cultural and economic aspects:

- End-user behavior. They are differences between the user pattern adopted in the energy simulation tools and real behavior of end-users.

- Indoor temperatures below 18 °C. Some end-users which took part in the EU-GUGLE survey campaigns claimed their set point temperature were below 18 °C in their homes in winter season [3].

- Improvement of the indoor thermal comfort thanks to the refurbishment of the energy building envelope. Better thermal comfort could be noticed by one quarter of the end-users (a third part of the current occupants) who lived previously in the pre-retrofit building. According to EU-GUGLE surveys [12], some end-users were quite satisfied with the indoor temperature experienced after the refurbishment works, in comparison to the former situation, so they did not feel the need to use the heating system.

Fig.7. Comparison of measured consumptions (monitored in 2018) and calculated consumptions (before and after retrofitting). Spanish case study.



culados [10], debido al hecho de que los inquilinos apenas encendían el sistema de calefacción o sólo durante periodos cortos de tiempo [11].

El consumo medio de energía medido para calefacción durante esos años era de sólo 4 kWh/m²año, mucho menos de lo esperado, 20 kWh/m²año (de acuerdo con las simulaciones horarias calculadas con la herramienta informática) (Fig.7).

Diferentes razones pueden causar la brecha energética entre el consumo de calefacción medido y el calculado. Estas razones pueden incluir aspectos técnicos, sociales, culturales y económicos:

- Comportamiento del usuario final. Existen diferencias entre el patrón de uso adoptado en las herramientas de simulación energética y el comportamiento real de los usuarios finales.

- Temperaturas interiores inferiores a 18 °C. Algunos usuarios finales que participaron en las encuestas de EU-GUGLE afirmaron que su temperatura de consigna estaba por debajo de los 18 °C en sus hogares en la temporada de invierno [3].

- Mejora del confort térmico interior gracias a la rehabilitación de la envolvente energética del edificio. Una cuarta parte de los usuarios finales (equivalente a una tercera parte de las viviendas ocupadas), que vivían anteriormente en el edificio sin rehabilitar, pudo notar un mejor confort térmico. Según las encuestas de EU-GUGLE [12], algunos residentes estaban bastante satisfechos con la temperatura interior experimentada después de las obras de remodelación, en comparación con la situación anterior, por lo que no sentían la necesidad de usar el sistema de calefacción.

- El uso de calentadores individuales como radiadores eléctricos, calentadores de gas o estufas, etc. está muy extendido. La primera campaña de encuestas [12], llevada a cabo antes de la rehabilitación reveló que casi el 30% de los entrevistados utilizaban calefactores o calentadores individuales (radiadores eléctricos la mayoría de ellos).

- Sistema prepago de facturación. El 90% de los residentes entrevistados antes de la rehabilitación declararon que no conocían sus gastos mensuales de energía [3]. Fue este uno de los motivos por los que la administración pública propuso el sistema prepago conectado al sistema de monitorización, como una herramienta para concienciar y ayudar a la gestión y control de los gastos energéticos.

4.2 Caso de estudio Italiano

Los primeros análisis que se llevaron a cabo durante el proyecto EU-GUGLE en el edificio de Milán, resaltaron que el consumo de energía monitorizado para calefacción tras la rehabilitación energética era más

- The use of individual heater devices such as electric radiators, indoor gas heaters or stoves, etc. is widespread. The first EU-GUGLE survey campaign [12], conducted before the refurbishment works, revealed that nearly 30% of interviewees used individual heating devices (electric radiators most of them, and heating stoves with gas cylinder, wood, pellets or paraffin).

- Prepaid billing method. 90% of the tenants interviewed before the refurbishment works declared not to know the monthly energy expenses [3]. This is one of the reasons why the public administration proposed a prepaid billing method connected to the monitoring system as a tool to raise awareness and help manage and control energy costs.

4.2 Italian case study

The first analyses carried out during the EU-GUGLE project for the Milanese building highlighted that the monitored energy use for heating post-retrofit was higher than the corresponding calculated value, obtained with dynamic simulation software, using an standard occupant profile and set-points for residential building [11].

Although the building had undergone a thorough and careful renovation (45% of reduction of energy needs was reached), the analysis of the first two years (2015-2016) of measured heating energy use revealed higher consumptions than expected. The average measured energy use for heating during that period was 70 kWh/m²y, whereas 43 kWh/m²y had been estimated by the hourly energy simulations calculated with the DesignBuilder software) (Fig.8).

In a high energy standard refurbishment, such as the one under analysis, supervised by an experienced project management team, it was unlike to assume an incorrect execution of the works to explain such performance gap. Other relevant assumptions can be mentioned, regarding e.g. the adoption of con-

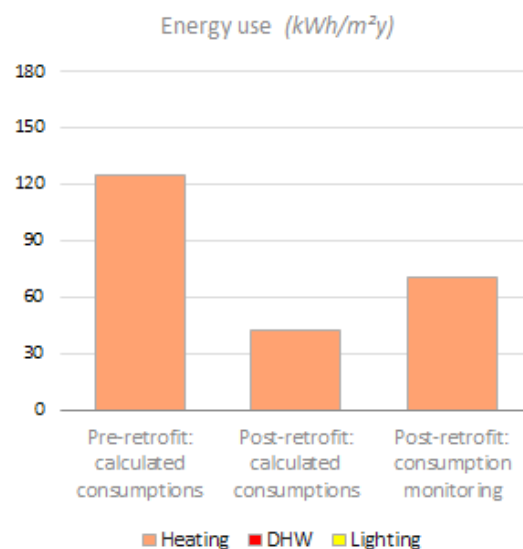


Fig.8. Comparison of measured energy use for heating (monitored in 2015-2016) and calculated one (before and after retrofitting). Italian case study.

elevado que el que se había estimado. Este había sido calculado con un software de simulación dinámica, utilizando un perfil de uso estándar y temperaturas de consigna asociadas al uso residencial [11].

Aunque el edificio había sido objeto de una renovación minuciosa y cuidadosa, alcanzándose una reducción del 45% en la demanda de calefacción, el análisis de los dos primeros años (2015-2016) de datos monitorizados reveló consumos de calefacción más altos de lo esperado. El consumo real promedio para calefacción durante ese período fue de 70 kWh/m²año, mientras que 43 kWh/m²año había sido el valor estimado por la simulación energética horaria, obtenido con la herramienta DesignBuilder (Fig.8).

En una rehabilitación energética de alto nivel, como la del presente estudio, supervisada por un equipo con gran experiencia, era poco probable asumir una ejecución deficiente de las obras de rehabilitación que explicara semejante diferencia. Se pueden mencionar otras consideraciones relevantes como la adopción de perfiles de uso convencionales (por tanto diferentes a los casos particulares), el uso de datos climáticos estándar, sistemas en funcionamiento continuo, temperatura de consigna a 20°C. Algunas de estas hipótesis de cálculo pueden llevar a una sobreestimación de los resultados. Sin embargo, la temperatura de consigna que se emplea en los cálculos es considerablemente más baja a la que se registró en las viviendas (debida a las consignas introducidas por los usuarios). La presencia de un mayor gradiente térmico (entre el interior y el exterior del edificio) que la considerada en el cálculo conlleva un incremento en el consumo de energía.

El cambio de comportamiento de los usuarios hacia un estilo de vida más consumidora de energía, unido en parte a una pobre información y a una escasa participación en el proceso de rehabilitación, es un fenómeno bien conocido en la literatura científica conocido como "efecto rebote" [13]. De hecho, las temperaturas interiores que se han registrado en algunos apartamentos muestran valores muy elevados en algunos casos, muy por encima de los 20°C, más los 2°C de tolerancia, fijados por la normativa italiana para la temporada de invierno [14]. Además, el método de facturación que se ha adoptado en este edificio para los servicios de calefacción y de ACS no se basa en los consumos individuales sino en el consume total de energía de todas las viviendas, dividido por la superficie de cada vivienda, y el coste que resulta de este cálculo se incluye en el alquiler del apartamento, lo que hace que sea todavía menos evidente para el inquilino. Este enfoque puede tener un impacto importante en la concienciación de los usuarios hacia el consumo de energía [15].

5. CONCLUSIONES

Los dos casos de estudio mencionados son ejemplos sobresalientes de renovación profunda, pero

ventional use profiles (therefore obviously different from the specific cases), standard climatic data, continuous systems operation, fixed set point at 20 °C. Some of these calculation hypotheses may lead to overestimation of the results, however the set point temperature used in the calculations is considerably and systematically lower than the one found in the apartments (and due to user settings). The presence of a much greater temperature difference (between indoors and outdoors) than assumed during the calculation obviously leads to an increase in the energy use in reality.

The changes in the behavior of users towards more energy-intensive lifestyles, in part connected to poor information and involvement in the refurbishing process, is a phenomenon well known in scientific literature as "rebound effect" [13]. Indeed, the indoor temperatures monitoring performed in some apartments showed very high values in some cases, far above the 20 °C, plus 2 °C of tolerance, prescribed by law in Italy during winter season [14]. Furthermore, the billing method adopted in this building for the heating and domestic hot water services is not based on individual consumptions, but on the sum of the energy use of all the households, divided according to the surface of each apartment, and the cost resulting from this calculation is included in the monthly rent for the apartment, making it even less evident for the tenants. This approach may have an important impact on the users' awareness and energy use [15].

5. CONCLUSIONS

The aforementioned two case studies are outstanding examples of deep renovation, but whereas the Italian case experiences the positive performance gap, the Spanish one experiences the negative one.

Uncertainties are present in both cases regarding energy performance predictions, but occupant behaviors are recurrently indicated as a major source of the resulting gap between expected and measured consumptions [2], possibly because the dynamics of actual energy use and occupancy patterns are different from those assumed in energy efficiency norms or used as input in simulation tools. Hence, to reduce this uncertainty, a set of potential behavior patterns, and associated estimated probabilities, instead of a single standardized pattern, might be developed and included in the simulation tools used for energy performance assessment. In both case studies, it would be interesting to extend the monitoring period, especially in Sestao, where it was the first year of occupation, an atypical year in which the dwellings are gradually being inhabited and in which there is still a significant number of unoccupied homes.

Indoor temperature measurements and specific target-oriented surveys could be useful to confirm the other hypothesis related to the possibility of

mientras que el caso italiano se produce la brecha energética positiva, en el español se experimenta la negativa.

Las incertidumbres con respecto a las predicciones de consumo energético y con respecto a las mediciones del mismo están presentes en ambos casos, pero los comportamientos de los ocupantes se señalan de forma recurrente como un factor importante de la brecha resultante [2] posiblemente porque la dinámica real de uso y los patrones de ocupación son diferentes a los considerados en las regulaciones de eficiencia energética o a los utilizados en las herramientas de simulación. Por tanto, para eliminar esta incertidumbre, se deben desarrollar, e incluir en las herramientas de simulación de evaluación energética, una gama de potenciales patrones de comportamiento, en lugar de un único perfil estandarizado, y sus probabilidades estimadas asociadas. En ambos casos sería interesante ampliar el periodo de monitorización, especialmente en el caso de Sestao, cuya monitorización se produjo en el primer año de ocupación, un año atípico en el que las viviendas se van habitando paulatinamente y en el que existen todavía aun número significativo de apartamentos vacíos.

Las mediciones de temperatura interior y la realización de encuesta más orientadas, podrían ser útiles para confirmar la otra hipótesis relacionada con la posibilidad de alcanzar valores de temperatura interior inferiores a 18 °C en algunos apartamentos del caso de estudio de Sestao. Esta es una posibilidad real debido a los bajos ingresos de algunos hogares que pueden estar en situación de pobreza energética.

Los hábitos arraigados en el uso de dispositivos individuales para calefactar (calentadores, calefactores, estufas de gas, radiadores eléctricos, etc.) se pueden analizar con la monitorización de las temperaturas interiores junto con los datos obtenidos de nuevos cuestionarios o entrevistas .

El sistema prepago puede tener efectos medibles en el comportamiento del usuario, ya que fomenta el ahorro de energía para reducir costes [16]. Algunos estudios sobre los métodos de facturación y el comportamiento de los usuarios indican que la mayoría de los usuarios del sistema prepago están más concienciados y preocupados por su consumo de energía, que cuando utilizaban el método de facturación convencional. Por lo tanto, un sistema prepago, conectado al sistema de monitorización y a una plataforma on-line, como el implementado en el caso de estudio de Sestao, ayuda a generar conciencia, a controlar y a restringir el consumo de energía de los usuarios finales. Este hecho puede ser una de las principales razones para explicar la diferente brecha energética con respecto al caso de Milán, donde los inquilinos no pagan por su propio consumo de energía de calefacción y ACS, ni reciben información so-

reaching temperature set-points lower than 18 °C in some apartments of Sestao building retrofit. This is a real possibility due to the low incomes of some households that can be in an energy poverty situation.

Rooted habits on using individual heaters (indoor gas heaters or stoves, electric radiators, etc.) can be analyzed by means of monitoring indoors temperatures together with data obtained from questionnaires or interviews . Prepaid metering can have measurable effects on behavior as it encourages energy conservation so as to reduce cost [16]. Some studies regarding billing methods and user behavior indicates the majority of the users of the prepaid meter system are more conscious and concerned about their energy consumption than when they were using the conventional billing method. Hence, a prepaid billing method connected to the monitoring system and online platform, like the one deployed in the Sestao case study, helps raise awareness, control and constrain the end-users energy consumption. This fact may be one of the main reasons to explain the difference in performances with the Milanese case, where tenants don't pay for their own specific energy use for heating and DHW nor do they receive information on these values.

Informative campaigns to end-users, training on understanding energy bills and the use of different elements of the monitoring system, like the thermostats, etc. are advisable in order to raise awareness and help manage the heating energy use.

ACKNOWLEDGMENTS

The research has been partially based on data provided by EU-GUGLE project [1], co-funded by the European Union's under the Seventh Framework Program for research, technological development, and demonstration (grant agreement N° 314632).

We are thankful to the partners of EU-GUGLE, in particular Ana Garbisu (SESTAO BERRI), and Arch. Manzoni and Arch. Bardeschi (Comune di Milano), and Francisco Serna (CENER) for his great technical support, as well as the Spanish company STECHome

bre estos valores.

Campañas informativas a los usuarios finales, formación para la comprensión de las facturas de energía o el uso de diferentes elementos del sistema de monitorización, como los termostatos, etc. son aconsejables para sensibilizar y ayudar a gestionar el consumo energía de calefacción.

AGRADECIMIENTOS

La investigación se ha basado parcialmente en datos proporcionados por el proyecto EU-GUGLE [1], cofinanciado por la Unión Europea en el marco del Séptimo Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (Contrato N° 314632).

Agradecemos a los socios de EU-GUGLE, en particular a la arquitecta Ana Garbisu (SESTAO BERRI), a los arquitectos Manzoni y Bardeschi (Ayuntamiento de Milán) y Francisco Serna (CENER) por su gran apoyo técnico, así como a la empresa española STECHome por su colaboración.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] <http://eu-gugle.eu/>. Last access: 20/06/2021.
- [2] Sun, K; Hong, T. A framework for quantifying the impact of occupant behavior on energy savings of energy conservation measures. *Energy Build.* 2017, 146, 383-396.
- [3] EU-GUGLE project, D3.3.a Socio-economic analysis, 1st survey conducted (CENER, 2014) and D3.3.b 2nd survey conducted (CENER, 2018).
- [4] <https://www.stechome.es/>. Last access: 20/06/2021.
- [5] Sangalli, A.; Pagliano, L.; Causone, F.; Salvia, G.; Morello, E. Energy efficiency and occupants' behavior: Analysis of a public housing case study. In *Proceedings of the AICARR 51st International Conference "The Human Dimension of Building Energy Performance"*, Venice, Italy, 20-22 February 2019; pp. 643-656.
- [6] <https://www.kamstrup.com/en-en>. Last access: 12/08/2021.
- [7] <http://www.capetti.it/>. Last access: 12/08/2021.
- [8] International Organization for Standardization, ISO 52016-1:2017 - Energy performance of buildings - Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads - Part 1: Calculation procedures. 2017, p. 204.
- [9] CTE-DB HE. Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE Ahorro de Energía.
- [10] Díaz Regodón, I., Serna Lumbreras, F., Delgado L.C., Garbisu, A. Energy efficiency retrofitting of Txabarri-El Sol district in Sestao (Bizkaia). EU-GUGLE project. *Proceedings of VI EECN- Congress of Nearly Zero Energy Buildings.* Madrid (Spain), 2019. ISBN: 9781692234782.
- [11] EU-GUGLE project, D3.2 Final evaluation report on energy savings (CENER, 2019).
- [12] EU-GUGLE project, D1.1.5, 1st Survey about integration of socio-economic aspects and analysis of sustainability (BOKU 2015); 3rd Survey (BOKU, 2018).
- [13] Atkinson J., Littlewood J., Karani G., Geens A. 2016. Relieving fuel poverty in Wales with external wall insulation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 170(2), 93-101.
- [14] D.P.R. 16 Aprile 2013 n°74.
- [15] Martin, William M., "pay-as-you-go electricity: the impact of prepay programs on Electricity consumption" (2014). *Theses and Dissertations - Agricultural Economics*. 29. UKnowledge. University of Kentucky.
- [16] Adenikinju, A. and Oluwayemisi, O (2013). Billing methods and electricity consumption: a tale of two Nigerian cities. *The Nigerian journal of economic and social studies*. - Ibadan: Soc., ISSN 0029-0092, ZDB-ID 41679-4. - Vol. 55.2013, 2, p. 315-343.

Nature-Based Solutions as a path towards sustainable management in water and energy: vegetated swales and ground source heat pump

Soluciones basadas en la naturaleza como camino hacia la gestión sostenible del agua y la energía: cunetas verdes y bomba de calor geotérmica

Carlos Rey-Mahía¹, Luis A. Sañudo-Fontaneda^{1,2}, Felipe Pedro Álvarez-Rabanal¹, Antonio Menéndez Suárez-Inclán¹

ABSTRACT

Energy demand in cities is growing significantly, mainly due to the increasing population in urban environments. This is also causing the waterproofing of large areas, as well as the shortage of available space. This research tries to respond to these challenges, combining Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) with Ground Source Heat Pump (GSHP). For this, the lines of research started in the combination of permeable pavements and green swales with GSHP will continue. The first step of the investigation is the field monitoring of a green swale. The data collected allow the evaluation of the thermal behavior of the green swale under real operating conditions and will be used to carry out new tests and simulations to determine the optimal parameters for the design and operation of these combined systems.

Key Words: energy-water nexus; Ground Source Heat Pump (GSHP); Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS); Green infrastructure (GI); Water Sensitive Urban Design (WSUD).

(1) INDUROT Research Institute, GICONSIME Research Group, Department of Construction and Manufacturing Engineering, University of Oviedo, Campus of Mieres, Gonzalo Gutierrez Quiros s/n, 33600 Mieres, Spain;

(2) Centre for Agroecology, Water and Resilience, Coventry University, Ryton Gardens, Coventry CV8 3LG, UK

1. INTRODUCCIÓN

La demanda de energía en los entornos urbanos está aumentando significativamente, siendo casi un tercio de la energía consumida en las ciudades de la UE la correspondiente a la climatización y refrigeración de edificios [1]. Esto se ve agravado debido al aumento de la población y el crecimiento de los grandes núcleos urbanos [2], lo que está provocando una impermeabilización de grandes superficies, interrumpiendo así el ciclo natural del agua [3]. A todo esto hay que sumar la escasez de superficie disponible en las ciudades, lo que genera la necesidad de crear infraestructuras multifuncionales capaces de aunar la gestión del agua de lluvia con el aprovechamiento energético [4].

Investigaciones previas han demostrado la capacidad de algunos Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) de albergar dispositivos energéticos como la bomba de calor geotérmica (GSHP – por sus siglas en inglés) [5]. Los SUDS son un conjunto de técnicas de Infraestructura Verde (IV) que aportan soluciones de drenaje preservando la calidad y cantidad del agua de lluvia, así como potenciando la biodiversidad de los lugares en los que se instala, creando así espacios más cómodos para vivir [6].

Experiencias previas, tanto en laboratorio como en campo, han evaluado la viabilidad de la combinación de firmes permeables y cunetas verdes con elementos de geotermia [5],[7]. En estas primeras investigaciones se destacó la necesidad de profundizar en la comprensión del funcionamiento de estos sistemas en combinación con sistemas basados en la geotermia [8].

Este trabajo trata de continuar con esta línea de investigación, tratando de dar respuesta a los retos planteados en estas investigaciones previas con el objetivo de sentar las bases para el posterior desarrollo de esta nueva tecnología.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La bomba de calor terrestre (GSHP) es un término que engloba un conjunto de sistemas que emplea el agua subterránea o superficial como fuente de calor o disipador [9].

El sistema propuesto consiste en una bomba de calor acoplado a tierra (GCHP – por sus siglas en inglés) conectado con una cuneta verde. Estos sistemas de tuberías enterradas de circuito cerrado son las más empleadas para el aprovechamiento térmico de edificaciones. Cuando los intercambiadores se colocan con una disposición horizontal, se suelen ubicar en profundidades comprendidas entre 1 a 2 metros [10]. Son especialmente adecuados para nuevas construcciones, ya que es la tecnología más eficiente cuando se emplean sistemas de baja temperatura como el suelo radiante [11].

1. INTRODUCTION

The demand for energy in urban environments is increasing significantly, with almost a third of the energy consumed in EU cities corresponding to air conditioning and cooling systems in buildings [1]. The aforementioned issue is aggravated due to the increase in population and the growth of large urban areas [2], which is causing a waterproofing of large areas, thus interrupting the natural water cycle [3]. Furthermore, the scarcity of available surface in cities contributes towards the need to create multifunctional infrastructures capable of combining stormwater management with energy use [4].

Previous research has shown the capacity of some Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) to house energy devices such as Ground Source Heat Pump (GSHP) [5]. SUDS are a set of Green Infrastructure (GI) techniques associated with sustainable and resilient water management that provide drainage solutions preserving the quality and quantity of rainwater. SUDS also enhance the biodiversity of the places where they are implemented, thus creating more comfortable spaces to live [6].

Laboratory and field studies conducted recently have assessed the potential viability of the combination of permeable pavements and vegetated swales alongside geothermal elements [5],[7]. These early investigations highlighted the need to deepen the understanding of the operation of these systems in combination with systems based on geothermal [8].

The present research continues this research line, analyzing the challenges posed in these previous investigations with the main aim of laying the foundations for the subsequent development of this combined technology.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The GSHP is a term that encompasses a set of systems that use ground or surface water as a heat source or dissipator [9].

The proposed system consists of a Ground-Coupled Heat Pump (GCHP) connected to a vegetated swale. These closed-circuit buried pipe systems are the most utilized for thermal uses in buildings. When the exchangers are placed horizontally, they are usually located at depths between 1 to 2 meters [10]. They are especially suitable for new constructions, since it is the most efficient technology when using low temperature systems such as underfloor heating [11].

Combining a GCHP with a vegetated swale can improve system performance from a thermal standpoint. This is because the vegetated swale has good insulation characteristics [12]. These characteristics can be enhanced by a design of the swale that

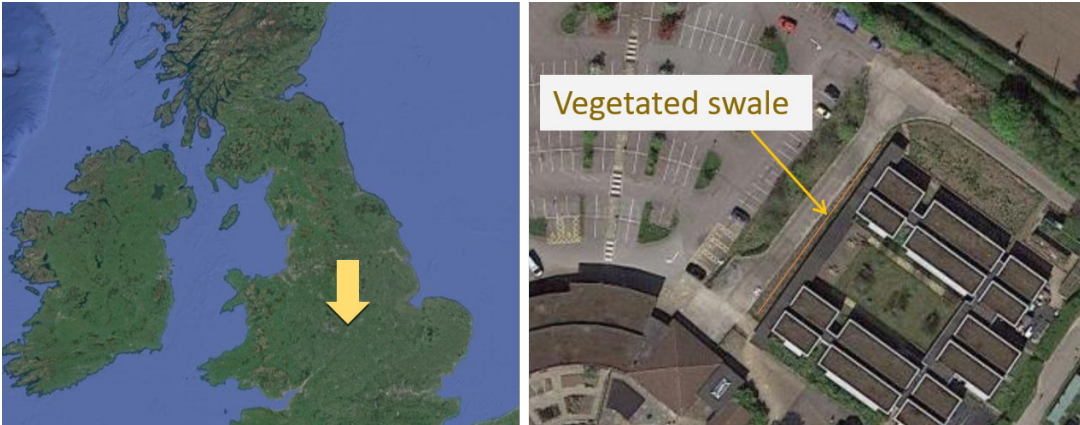


Fig. 1. Location of the vegetated swale (Source: Google Maps).

Al combinar una GSHP con una cuneta verde se puede obtener una mejora en el rendimiento del sistema. Esto se debe a que la cuneta verde posee buenas características de aislamiento [12]. Estas características se pueden potenciar mediante un diseño de la cuneta que contemple su aprovechamiento geotérmico.

Por otra parte, al combinar ambas tecnologías se están reduciendo considerablemente los costes de instalación del intercambiador geotérmico, así como optimizando el aprovechamiento del suelo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se desarrollará siguiendo una metodología híbrida, basada en la combinación de simulaciones numéricas y ensayos experimentales, tanto en laboratorio como en campo. Para ello se ha iniciado la investigación realizando una caracterización en campo de las propiedades térmicas de una cuneta verde. Los resultados obtenidos en esta caracterización son muy importantes, ya que servirán cómo datos de entrada de los modelos numéricos.

La cuneta verde monitorizada se encuentra en el Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR), Coventry University, Ryton Organic Gardens (UK). Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la zona tiene un Cfb, con una precipitación anual de 700,1 mm [13].

Se trata de una cuneta verde integrada dentro de un tren de tratamiento SUDS. Esta, recoge el agua de escorrentía de una serie de cubiertas verdes, así como de una zona pavimentada anexa a la misma. La cuneta estudiada, de 45,0 metros de longitud, 3,5 metros de ancho y una pendiente lateral de 2:1 (H:V), se encarga de transportar el agua captada, la cual se acaba vertiendo al río Avon.

Para la toma de datos de la temperatura de la cuneta en su parte superior se ha empleado un sensor tipo OTT Orpheus Mini. Este equipo también permitió tomar datos del nivel de agua existente en la cuneta. El sensor se colocó en la parte final de la cuneta, es decir, en su punto de vertido. Los valores de temperatura registrados con el sensor tuvieron una preci-

contemplates its geothermal use.

On the other hand, the installation costs of the geothermal exchanger could be considerably reduced by combining both technologies, as well as optimizing the use of the land.

3. MATERIALS AND METHODS

This research will be developed following a hybrid methodology, based on the combination of numerical simulations and experimental tests, both in the laboratory and in the field. In consequence, the investigation began by carrying out a characterization in the field of the thermal behavior of a vegetated swale. This characterization is very important since it will serve as input data for the numerical models.

The monitored vegetated swale is located in the Centre for Agroecology, Water and Resilience (CAWR), Coventry University, Ryton Organic Gardens, UK. The area has a Cfb range according to the Köppen-Geiger climate classification, with an annual rainfall of 700.1 mm [13].

The vegetated swale is integrated into a SUDS treatment train, collecting the runoff from a series of green roofs, as well as from an adjacent paved area. This swale of about 45,0 meters long, 3,5 meters wide and 2:1 side slope (H:V), is in charge of transporting the captured water, which ends up being discharged into the Avon River.

An OTT Orpheus Mini type sensor has been used to collect data for the surface temperature of the swale. This equipment also monitored the water level at the outflow point in the swale. The temperature values recorded with the sensor had a precision of ± 0.5 °C.

A meteorological station was installed onsite, allowing the collection of meteorological data, especially the values of the ambient temperature with the purpose to be compared to those from the swale. The monitoring period run for a total of 5 months between February and June 2019.

Fig.2. View of the vegetated swale (A) and monitoring equipment (B).



sión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

En el CAWR existe una estación meteorológica, con la cual se ha podido tomar datos climatológicos, especialmente se han podido monitorizar en continuo los valores de la temperatura ambiente. La cuneta se ha monitorizado un total de 5 meses, entre febrero y junio del año 2019.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

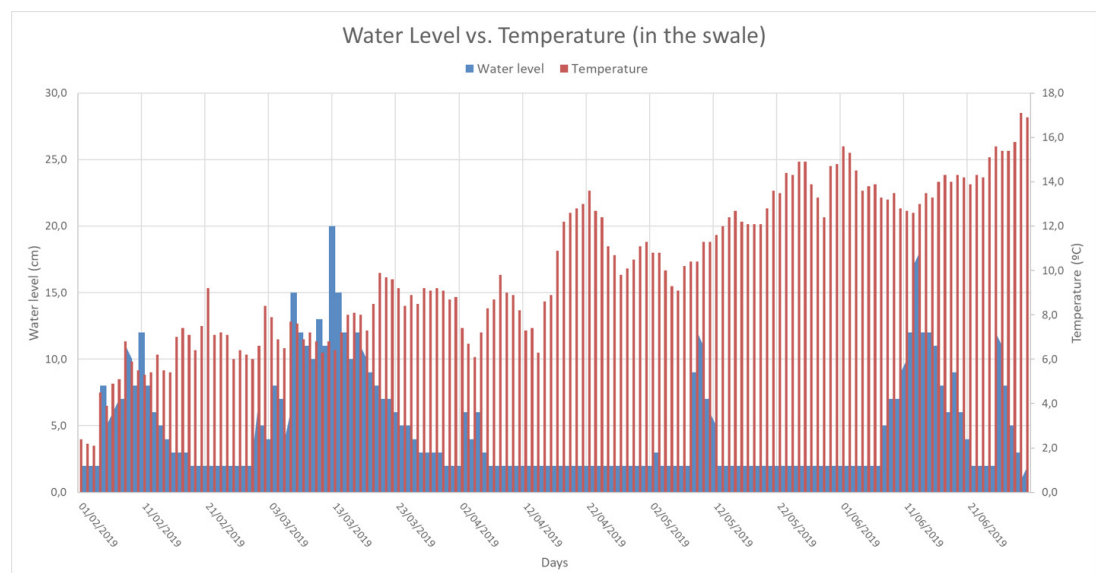
Se registraron un total de 5 periodos de lluvia, alcanzando un nivel máximo de agua en la cuneta de 24 cm. El nivel máximo de agua que se puede alcanzar en la cuneta, sin que esta se desborde, es de 60 cm. Por lo tanto, en el mayor evento de lluvia se alcanzó un 40% de la capacidad de la cuneta. También se observó cómo la presencia de agua en la cuneta produjo una ligera disminución de la temperatura en la

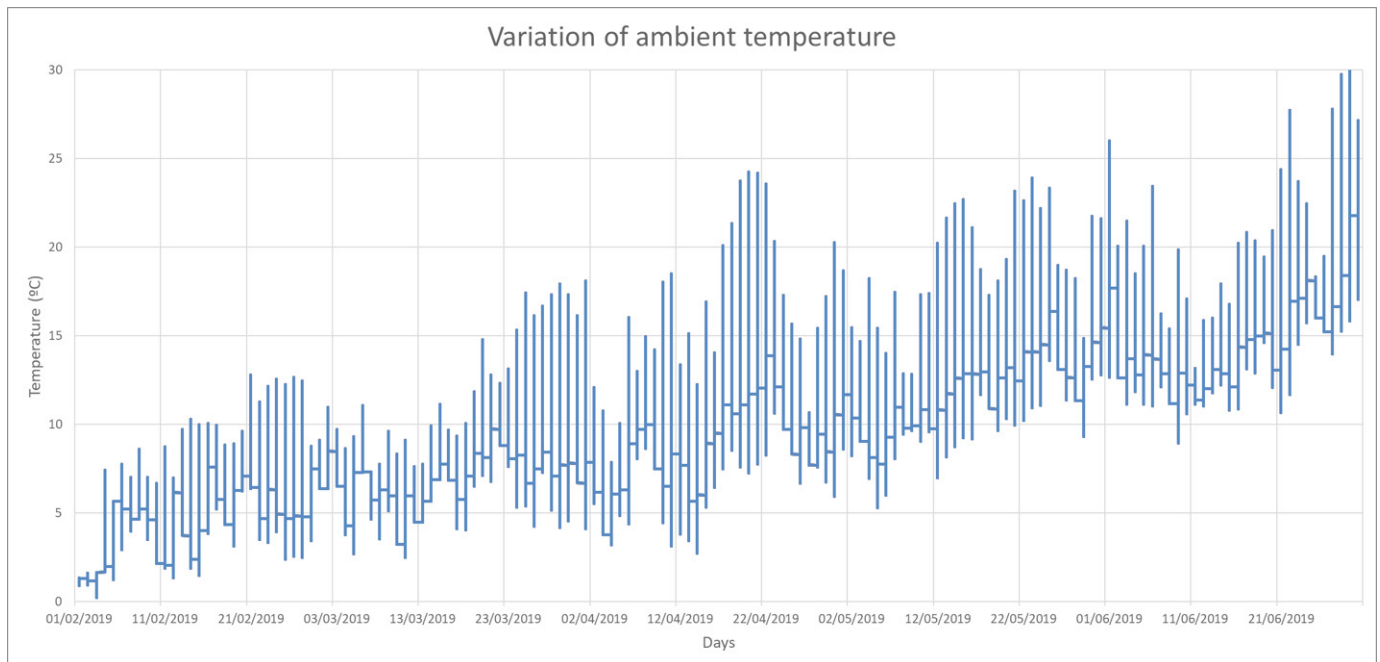
4. RESULTS AND DISCUSSIONS

A total of 5 rain events were recorded, reaching a maximum water level of 24 cm in the swale. The maximum level of water that can be reached in the swale, without it overflowing, is 60 cm. Therefore, in the largest rain event, 40% of the capacity of the swale was reached. It was also observed how the presence of water in the swale produced a slight decrease in temperature during the same event (view Figure 3).

During the period studied, the temperature of the swale did not fall below 0°C , the most common temperature being between 6 and 12°C . The temperature in the swale remained more stable than the ambient temperature, with the thermal gradient of the ambient temperature in the period studied being 30°C , compared to the 17°C measured in the surface

Fig.3. Comparison between water level and temperature in the swale.





misma (ver Figura 3).

Durante el periodo estudiado, la temperatura de la cuneta no llegó a estar por debajo de los 0°C, siendo la temperatura más habitual entre los 6 y 12°C. La temperatura en la cuneta se mantuvo más estable que la temperatura ambiente, siendo el gradiente térmico de la temperatura ambiente en el periodo estudiado de 30°C, frente a los 17°C medidos en la parte superior de la cuneta verde.

Es de esperar que estas características de estabilización del gradiente térmico se vean mejoradas a mayor profundidad, en las capas de la base o subbase de la cuneta. Una mejora de las características aislantes de los materiales que componen las capas inferiores de la cuneta permitiría reducir las pérdidas de calor de las conducciones de geotermia superficial hacia el exterior y mejoraría el rendimiento de la bomba de calor del sistema.

5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los datos recopilados han servido para profundizar en el conocimiento del comportamiento térmico de la cuneta, y sirven como datos de partida para la realización de nuevos ensayos y simulaciones enfocadas en el aprovechamiento energético de este tipo de infraestructuras.

De los datos obtenidos se puede vislumbrar la capacidad que posee una cuneta verde de estabilizar el gradiente térmico y aislar térmicamente del ambiente exterior, proporcionando, en invierno, temperaturas superficiales más elevadas que a temperatura ambiente. La temperatura de la cuneta no ha llegado a estar por debajo de los 0°C, con lo que se evitaría posibles congelamientos si se instalase un intercambiador geotérmico.

of the vegetated swale.

It is expected that these characteristics of stabilization of the thermal gradient will be improved at a greater depth, in the base or subbase layers of the swale. An improvement in the insulating characteristics of the materials used to build these lower layers would make the reduction of the heat losses from the surface geothermal pipes to the outside possible, as well as an improvement in the performance of the system's heat pump.

5. CONCLUSIONS AND FUTURE RESEARCH

The data collected has served to deepen the knowledge of the thermal behavior of the swale, functioning as starting data for the realization of new tests and simulations focused on the energy use of this type of infrastructure.

It is possible to glimpse, from the data obtained, the ability of a vegetated swale to stabilize the thermal gradient, insulating thermally from the outside environment, providing, in winter, higher surface temperatures than at room temperature. The temperature of the swale has not reached below 0°C, which would prevent possible freezing of a geothermal exchanger.

Future research would need to focus in the characterization of the thermal properties of the materials utilized in the construction of vegetated swales. Subsequently, the data in the field and in the laboratory will be used to feed and calibrate the numerical models to be carried out. These models will serve to understand the long-term operation of the system and thus, to be able to establish the optimal operating parameters of the geothermal heat pump combined with SUDS green techniques as vegetated swales.

Fig.4.
Evolution of the ambient temperature.

Como futuros pasos de la investigación se establece necesidad de determinar mediante ensayos en laboratorio el comportamiento térmico de las cunetas verdes, así como las propiedades térmicas de los materiales que las componen, tanto en seco como en mojado. Posteriormente, se emplearán los datos en campo y en laboratorio para alimentar y calibrar las modelizaciones numéricas a realizar. Dichas modelizaciones servirán para comprender el funcionamiento a largo plazo del sistema y poder así establecer los parámetros óptimos de funcionamiento de la bomba de calor geotérmica combinada con sistemas urbanos de drenaje sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo económico de la Universidad de Coventry a través del proyecto "Investigation of Green Infrastructure as a combined technique for Bioretention, Flood Resilience and Renewable Energy", así como el apoyo financiero brindado por la FICYT a través del proyecto GRUPIN Ref. IDI/2018/000221, cofinanciado con fondos FEDER de la UE.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the financial support from Coventry University through the project "Investigation of Green Infrastructure as a combined technique for Bioretention, Flood Resilience and Renewable Energy", as well as the financial support provided by the FICYT through the GRUPIN project Ref. IDI/2018/000221, co-financed with EU FEDER funds.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Yildiz, A., Stirling, R.A., 2021. Thermo-hydrological behaviour of green infrastructure: A comparative field and laboratory study. *Geomechanics for Energy and the Environment* 25, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2020.100219>
- [2] United Nations, 2015. The Millennium Development Goals Report.
- [3] Mayor's Office of Transportations and Utilities, City of Philadelphia, 2014. City of Philadelphia Green Streets Design Manual.
- [4] Charlesworth, S.M., Faraj-Llyod, A.S., Coupe, S.J., 2017. Renewable energy combined with sustainable drainage: Ground source heat and pervious paving. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68, 912–919. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.019>
- [5] Faraj Lloyd, A., Charlesworth, S.M., Coupe, S.J., 2017. Sustainable Drainage Systems and Energy: Generation and Reduction, in: Charlesworth, S.M., Booth, C.A. (Eds.), *Sustainable Surface Water Management*. Wiley, pp. 177–192. <https://doi.org/10.1002/9781118897690.ch13>
- [6] Woods-Ballard et al., 2015. Assessment and management of unexploded ordnance (UXO) risk in the marine environment, CIRIA. CIRIA, London, UK.
- [7] Andrés-Valeri, V.C., Sañudo-Fontaneda, L.A., Rey-Mahía, C., Coupe, S.J., Alvarez-Rabanal, F.P., 2018. Thermal Performance of Wet Swales Designed as Multifunctional Green Infrastructure Systems for Water Management and Energy Saving. *Proceedings* 2, 1433. <https://doi.org/10.3390/proceedings2231433>
- [8] Rey-Mahía, C., Sañudo-Fontaneda, L.A., Andrés-Valeri, V.C., Álvarez-Rabanal, F.P., Coupe, S.J., Rocés-García, J., 2019. Evaluating the Thermal Performance of Wet Swales Housing Ground Source Heat Pump Elements through Laboratory Modelling. *Sustainability* 11, 3118. <https://doi.org/10.3390/su11113118>
- [9] Kavanaugh, S., Rafferty, K., 2016. Geothermal Heating and Cooling: Design of Ground-Source Heat Pump Systems 36.
- [10] Espanya, Ministerio de Industria, C. y T., Espanya, Ministerio de Ciencia e Innovación, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Instituto Geológico y Minero de España, 2008. Manual de geotermia. IDAE, Madrid.
- [11] Energy Saving Trust, 2007. Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and installation of closed-loop systems – A guide for specifiers, their advisors and potential users.
- [12] Sañudo-Fontaneda, L.A., Rocés-García, J., Coupe, S.J., Barrios-Crespo, E., Rey-Mahía, C., Álvarez-Rabanal, F.P., Lashford, C., 2020. Descriptive Analysis of the Performance of a Vegetated Swale through Long-Term Hydrological Monitoring: A Case Study from Coventry, UK. *Water* 12, 2781. <https://doi.org/10.3390/w12102781>
- [13] UK Met Office. UK Climate Averages. Coventry (West Midlands Conurbation). 2021.

Domestic heat pumps as part of demand-side management in smart grids

Las bombas de calor domésticas como parte de la gestión de la demanda en redes inteligentes

Mikel Arenas-Larrañaga^{1,2}, Koldobika Martin-Escudero², Mainer Santos-Mugica³

ABSTRACT

Domestic compression heat pumps that are used for climatization and production of DHW, are among the technologies that have the potential to pursue the climatic objectives set by the European Union. Since they make use of electricity as their activation energy, and provided that the share of renewable energies will grow in the following years, heat pumps will very likely play an important part in the decarbonisation process of the domestic sector. Also because of the growth of renewable energy sources and the atomisation of the production, the electrical grid faces challenges that have become more evident in recent years. Smart grids have been proposed as part of the solution for these issues. These grids are highly interconnected grids that consider production, distribution and consumption of electrical energy to optimise the overall performance by making use of new technologies. As part of demand-side management techniques, heat pumps can offer flexibility to this enhanced electrical grid. Due to the existence of thermal inertias (water tanks and/or the building itself), there may be a decoupling between electricity consumption and thermal demand. The grid can take advantage of this phenomena and influence their electrical consumption.

This management can be carried out in different ways. The grid can provide information and the heat pumps may vary their performance by optimising some parameter. The optimization objective would normally be related to economic aspects. In a more straightforward approach, the smart grid could tell the heat pump directly how its functioning should be. Then, the machine would try to follow these orders. An example of this approach would be Smart Grid Ready Heat Pumps initiative. The most advanced strategy would be a management in which all actors negotiate with each other to obtain an overall optimized working point.

In this document, the presented concepts are elaborated, focusing on the hypothetical impact that the user may suffer and the performance of the heat pump.

Key Words: energy-water nexus; Ground Source Heat Pump (GSHP); Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS); Green infrastructure (GI); Water Sensitive Urban Design (WSUD).

(1) TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Área Anardi 5, 20730 Azpeitia, Spain

(2) ENEDI Research Group, Faculty of Engineering of Bilbao, University of the Basque Country (UPV/EHU), Plaza Ingeniero Torres Quevedo 1, 48013 Bilbao, Spain

(3) TECNALIA, Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Astondo bidea, 48160 Derio, Spain

1. INTRODUCCIÓN

Las bombas de calor de compresión son dispositivos que proporcionan calor haciendo uso de dos o más niveles de presión creados por un compresor. Este compresor generalmente funciona con electricidad. En otras palabras, de manera simplista, las bombas de calor son aparatos eléctricos que producen calor con un ciclo termodinámico. Además, a diferencia de otras tecnologías, y debido al ciclo termodinámico en el que se basan, el calor proporcionado es siempre superior a la potencia consumida. La relación entre estos dos valores está dada por el Coeficiente de Rendimiento (COP) [1].

Una de las aplicaciones en las que las bombas de calor pueden ser de buena utilidad es el sector residencial: la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y la calefacción. En la Unión Europea (UE), el 26,3 % del consumo final de energía en 2019 pertenecía al sector residencial, siendo el transporte el único sector con un mayor porcentaje [2]. Además, en 2018, el 63,6 % del consumo de energía en los hogares de la UE se debió a la calefacción y el 14,8 % a la producción de ACS [3]. Así, en total, casi el 80 % de la energía del sector residencial se consumió en estas aplicaciones.

Tradicionalmente, las calderas que funcionan con combustibles fósiles se han utilizado para satisfacer estas demandas térmicas. Ofrecen una solución rápida y asequible para producir calor de manera efectiva. Sin embargo, es bien sabido que el uso de combustibles fósiles es uno de los principales factores que contribuyen al aumento de las temperaturas globales. Las bombas de calor, por otro lado, no se basan directamente en estos combustibles, ya que necesitan electricidad para funcionar. Siempre que la cuota renovable crezca durante los próximos años, las bombas de calor pueden ser una de las herramientas en el camino hacia la neutralidad climática para 2050 [4]. Además, según la Asociación Europea de Bombas de Calor (EHPA), en 2020 se vendieron 1,6 millones de bombas de calor en 21 países europeos, mientras que en 2010 la cifra fue de 800.000 [5].

En paralelo, con el auge de las Energías Renovables (RES), la gestión de la red eléctrica es cada vez más compleja debido a su generación intrínsecamente variable y difícil de predecir [6]. Para compensar esta variabilidad, la gestión del lado de la demanda puede ser parte de la solución al problema [7]. La respuesta de la demanda puede definirse como “una tarifa o programa establecido para incentivar cambios en los patrones de consumo eléctrico por parte de los consumidores finales en respuesta a los cambios en el precio de la electricidad a lo largo del tiempo, o para incentivar los pagos diseñados para inducir un menor uso de electricidad en momentos de altos precios de mercado o cuando se pone en peligro la estabilidad de la red” [8].

1. INTRODUCTION

Compression heat pumps are devices that provide heat by making use of two or more pressure levels that are created by a compressor. This compressor usually runs on electricity. In other words, in a simplistic way, heat pumps are electrical appliances that produce heat with a thermodynamic cycle. Plus, unlike other technologies, and due to the thermodynamic cycle on which they are based, the heat provided is always higher than the power consumed. The ratio between those two values is given by the Coefficient of Performance (COP) [1].

One of the applications in which heat pumps can be of good use is the residential sector: the production of Domestic Hot Water (DHW) and Space Heating (SH). In the European Union (EU), 26.3 % of the final energy consumption in 2019 belonged to the residential sector, being transport the only sector with a higher percentage [2]. Moreover, in 2018, 63.6 % of the energy consumption in EU households was related to SH and 14.8 % was for production of DHW [3]. So, in total, almost 80 % of the energy in the residential sector was consumed in these applications.

Traditionally, boilers that run on fossil fuels have been used to meet these thermal demands. They offer a fast and affordable solution to produce heat. Nevertheless, it is a well-known fact that combustion of fossil fuels is one of the main factors that contribute to the rising of global temperatures. Heat pumps, on the other hand, are not directly based on these fuels since they need electricity to function. Provided that the renewable share will grow during next years, heat pumps may be one of the tools on the path to the climate neutrality by 2050 [4]. Plus, according to the European Heat Pump Association (EHPA), in 2020 1.6 million heat pumps were sold in 21 European countries, while in 2010 the number was 800.000 [5].

In parallel, with the rise of Renewable Energy Sources (RES), the management of the electricity grid is becoming more complex because of their intrinsically variable and hard to predict generation [6]. To compensate this variability, demand-side management is called to be part of the solution to the problem [7]. Demand response can be defined as “a tariff or programme established to incentivise changes in electric consumption patterns by end-use consumers in response to changes in the price of electricity over time, or to incentivise payments designed to induce lower electricity use at times of high market prices or when grid reliability is jeopardised” [8].

Within the academic literature, there may be found articles that analyse the insertion of domestic compression heat pumps in demand response strategies. Some of them focus on the performance of the system at a building level (as in [9]–[34]), others at pool or district level (as in [35]–[41]) and some others at

Dentro de la literatura académica, se pueden encontrar artículos que analizan la inserción de bombas de calor de compresión domésticas en estrategias de respuesta a la demanda. Algunos de ellos se centran en el rendimiento del sistema a nivel de edificio (como en [9]–[34]), otros a nivel de pool o de distrito (como en [35]–[41]) y algunos otros a nivel de la red (como en [42]–[46]). La mayoría de los análisis mencionados prueban su hipótesis con simulaciones. Dentro de la bibliografía seleccionada, sólo en [39], [47], se presentan experimentos del mundo real. Así, el resto de los estudios se basan en modelos.

La mayoría de ellos concluyen que la inserción de bombas de calor en las estrategias de respuesta a la demanda puede ser beneficiosa tanto para la red eléctrica (las bombas de calor funcionan como proveedores de flexibilidad) como para el consumidor (pueden reducir sus facturas de electricidad).

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de este artículo es presentar una revisión bibliográfica sobre el tema que se ha introducido, centrándose en las decisiones de modelización que se toman por los autores al analizar la inserción de bombas de calor domésticas en las estrategias de respuesta a la demanda, junto con los enfoques de control que se eligen en cada caso. Se resumirán las principales conclusiones de cada estudio, así como los pros y los contras de las decisiones de modelización.

1.2 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El resto del documento está estructurado de la siguiente manera. En la sección 2 se presenta un resumen del mercado eléctrico que será útil para el resto del documento, así como una clasificación básica de los programas de respuesta a la demanda. La sección 3 trata sobre los enfoques de modelización adoptados por diferentes autores al simular estrategias de respuesta a la demanda que incluyen bombas de calor domésticas. Se realizará una revisión de todos los elementos: el modelo del edificio, el modelo del sistema de almacenamiento, la distribución de calor y el modelo de la bomba de calor. Se subrayarán las posibles repercusiones de cada decisión. En la sección 4 se describen los enfoques de control que se pueden utilizar, haciendo hincapié en sus posibles ventajas e inconvenientes. Por último, en la sección 5 se extraen las principales conclusiones del trabajo.

2. CLASIFICACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE RESPUESTA A LA DEMANDA

El mercado de la electricidad se divide generalmente en los mercados mayorista y minorista, como se muestra en la Fig. 1. Los grandes actores del mercado eléctrico participan en el mercado mayorista, es decir, las centrales eléctricas (generadores) y algu-

grid level (as in [42]–[46]). Most of the mentioned analyses prove their hypothesis with simulations. Within the selected bibliography, only in [39] and [47], real-world experiments are presented. Thus, the rest of studies are based on models.

Most of them conclude that insertion of heat pumps in demand response strategies may be beneficial for both the electric grid (heat pumps work as flexibility providers) and the consumer (they may reduce their electricity bills).

1.1 AIM OF THE STUDY

The objective of this article is to present a literature review on the topic that has been introduced, focusing on the modelling decisions that are taken by the authors when analysing the insertion of domestic heat pumps in demand response strategies, alongside the control approaches that are chosen in each case. The main conclusions of each study will be summarised, as well as the pros and cons of the modelling decisions.

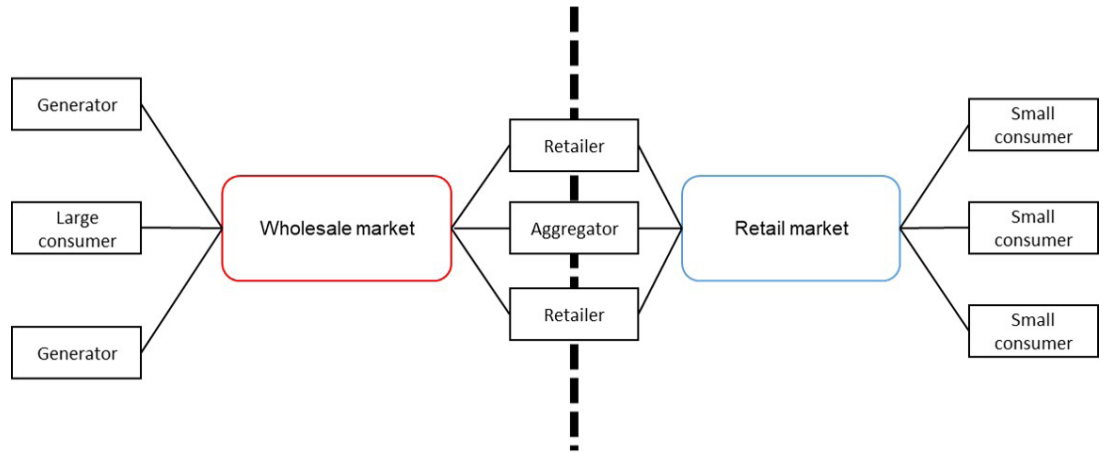
1.2 STRUCTURE OF THE DOCUMENT

The rest of the document is structured as follows. Section 2 presents a short summary of the electricity market that will be useful for the rest of the document, as well as a basic classification of demand response programs. Section 3 is about the modelling approaches that are taken by different authors when simulating demand response strategies that include domestic heat pumps. A revision of all elements will be carried out: the building model, the storage model, the heat distribution and the heat pump model. The potential repercussions of each decision will be underlined. In Section 4 the control approaches that can be used are described, emphasising their potential advantages and drawbacks. Finally, in Section 5 the main conclusions of the work are drawn.

2. CLASSIFICATION OF DEMAND RESPONSE PROGRAMS

The electricity market is usually divided into the wholesale and the retail markets, as depicted in Fig. 1. Big actors of the electricity market take part in the wholesale market, i.e. electricity power plants (generators) and some large consumers (mainly large industries that consume a great amount of electrical energy). Also, retailers have a role to play in the wholesale market. Basically, these companies buy energy in the wholesale market and sell it to small consumers in the retail market. Aggregators (which can be independent from the retailer or not) are a figure that may take part in both markets as well. They group together the interests of several small consumers and by inserting changes in their normal consumption patterns, they offer economic profits to these small consumers.

Fig. 1.
Diagram of the electricity market.



nos grandes consumidores (principalmente grandes industrias que consumen una gran cantidad de energía eléctrica). Las empresas comercializadoras también están presentes. Básicamente, estos últimos compran energía en el mercado mayorista y la venden a pequeños consumidores en el mercado minorista. Los agregadores (que pueden ser independientes del comercializador o no) son una figura que también puede participar en ambos mercados. Agrupan los intereses de varios pequeños consumidores y, al introducir cambios en sus patrones de consumo normales, les ofrecen beneficios económicos.

En el mercado mayorista, el evento más relevante es el mercado diario, en el que se fija la parte más importante del precio final de la energía [48]. De acuerdo con la ley de la demanda y la oferta, se alcanza un precio de casación por cada hora del día siguiente. Posteriormente, este precio se aplica a todos los actores que han participado. De esta manera, se obtiene un perfil de precios para cada hora del día siguiente. Tanto comercializadores como productores entran en la negociación con previsiones de consumo y generación.

Va durante el día, el mercado intradiario entra en juego: un método similar que tiene como objetivo insertar correcciones con mejores predicciones [49].

Aparte de eso, el operador de la red también requiere algunos otros servicios (los llamados servicios complementarios) que aseguran el correcto funcionamiento de la red eléctrica: cuando se detecta un mal funcionamiento no esperado de la red, la red pide ayuda a algunos actores [50]. Estos reducen o aumentan su producción o su generación para responder a esa llamada. Los generadores están obligados a responder a esas solicitudes hasta cierto punto. Sin embargo, históricamente, los pequeños consumidores no han sido incluidos en estos reglamentos. No obstante, se están introduciendo cambios en las normativas nacionales para permitir esta introducción.

Aunque puede haber múltiples modelos de negocio para los programas de respuesta a la demanda

In the wholesale market, the most relevant event is the day-ahead market, in which the most important part of the final energy price is fixed [48]. According to the law of demand and supply, a clearing price is reached for each hour of the next day. Afterwards, this price is applied to all the actors that have taken part. This way, a price profile is obtained for each hour of the next day. Both retailers and producers enter the negotiation with forecasts for consumption and generation.

During the actual day, the intraday market comes into play: a similar method that aims to insert corrections with better forecasts [49].

Apart from that, the grid operator also requires some other services (the so-called ancillary services) that assure the correct functioning of the electrical grid: when a non-expected malfunctioning of the grid is detected, the grid calls for help to some actors [50]. These reduce or augment their production or their generation in order to respond to that call. Generators do need to respond to those requests up to a point. However, historically, small consumers have not been included in these regulations. Nevertheless, changes are being inserted in national regulations in order to allow this introduction.

Though there may be multiple business models for demand response programs as showed in [51], from the load's point of view, there are two main types: the price-based and the incentive-based demand response programs [52].

In price-based programs, and depending on the contract between the consumer and the retailer, the former introduces changes in their normal consumption pattern to take advantage of the changing price of the electricity. This way, the flexible loads can be turned on while the electricity price is low and turned off when the opposite occurs, for example.

In incentive-based programs, participants that take part are paid for being flexibility providers in the previously described ancillary services.

2.1 HEAT PUMPS IN DEMAND RESPONSE

como se muestra en [51], desde el punto de vista de la carga, hay dos tipos principales: los programas de respuesta a la demanda basados en precios y los basados en incentivos [52].

En los programas basados en precios, y dependiendo del contrato entre el consumidor y el comercializador, el primero introduce cambios en su patrón de consumo natural para aprovechar el precio cambiante de la electricidad. De esta manera, las cargas flexibles se pueden encender mientras el precio de la electricidad es bajo y apagarse cuando ocurre lo contrario, por ejemplo.

En los programas basados en incentivos, los participantes que participan son pagados por ser proveedores de flexibilidad en los servicios complementarios descritos anteriormente.

2.1 LAS BOMBAS DE CALOR EN PROGRAMAS DE RESPUESTA A LA DEMANDA

Las bombas de calor tienen características que las hacen adecuadas para los programas de respuesta a la demanda. En primer lugar, las bombas de calor son máquinas térmicas que producen calor con electricidad como fuente de energía. A diferencia de las calderas, las bombas de calor electrifican la producción de calor. Por lo tanto, pueden ser parte de las estrategias de respuesta a la demanda. En segundo lugar, las bombas de calor tienen elementos periféricos que ayudan a reducir las molestias que el usuario pueda notar. No podemos olvidar que la respuesta de la demanda cambia los patrones de consumo de los consumidores. El reto es que este cambio pase desapercibido o, al menos, no afecte a la comodidad.

Las bombas de calor se pueden utilizar para la calefacción y para la producción de ACS. En el circuito de calefacción hay dos elementos que añaden inercia: un depósito opcional y el propio edificio. En el circuito de ACS, generalmente se agrega un tanque de agua, por lo que el agua caliente casi instantánea está disponible en cualquier momento.

En [9], [10], [14]–[17], [19], [20], [30]–[32], [35]–[38], [41], [43], [46], [53], [54] podemos observar estudios de bombas de calor en programas de respuesta a la demanda que consideran tanto la calefacción como la producción de ACS. En [11]–[13], [18], [21]–[24], [26]–[29], [33], [34], [39], [40], [42], [44], [45], [55]–[57], sólo se considera la calefacción.

En cuanto a la clasificación de los programas de respuesta a la demanda, en [9]–[23], [25]–[34], [36], [42], [55] el propósito principal se puede identificar como el precio, mientras que en [24], [35], [39]–[41], [43]–[46], [53], [57] se estudian los programas basados en incentivos.

2.1.1 SMART GRID READY HEAT PUMPS

PROGRAMS

Heat pumps have characteristics that make them suitable for demand response programs. First, heat pumps are thermal machines that produce heat with electricity as energy source. Unlike boilers, heat pumps electrify heat production. Therefore, they can be a part of demand response strategies. Second, heat pumps have peripheral elements that help to reduce the discomfort that the user may sense. We cannot forget that demand response changes the consumption patterns of consumers. The challenge is that this change should go unnoticed or, at least, should not affect the comfort.

Heat pumps may be used for SH and for production of DHW. In the SH circuit there are two elements that add inertia: an optional tank and the building itself. In the DHW circuit, a water tank is usually added, so almost instantaneous hot water is available at any time.

In [9], [10], [14]–[17], [19], [20], [30]–[32], [35]–[38], [41], [43], [46], [53], [54] we can observe studies of heat pumps in demand response programs that consider both SH and production of DHW. In [11]–[13], [18], [21]–[24], [26]–[29], [33], [34], [39], [40], [42], [44], [45], [55]–[57], only SH is considered.

Regarding the classification of demand response programs, in [9]–[23], [25]–[34], [36], [42], [55] the main purpose can be identified as price-based, while in [24], [35], [39]–[41], [43]–[46], [53], [57] incentive-based programs are studied.

2.1.1 SMART GRID READY HEAT PUMPS

In order to encourage the insertion of heat pumps in these programs, there are interfaces that aim to simplify and standardise the connection of individual heat pumps with grid or market actors. In this study, the Smart Grid Ready label is going to be presented [58]. This interface proposes four discrete states that come directly from a third party. For that matter, two logical signals are needed. In state 1 (OFF), the heat pump must be turned off for a maximum of 2 hours. In state 2 (Normal) the heat pump works in its default functioning. State 3 (ON) can be understood as a recommendation to turn on the machine while state 4 (Forced ON) is a mandatory order. Inside this last state a differentiation can be made when considering (or not) the hypothetical electrical heater. The Smart Grid Ready interface is used in [35], [36].

Though it is not explicitly explained in the requirements of the label, in both studies, the set-points of the SH and DHW systems are changed according to the signal that is being received from the Smart Grid Ready interface. When an ON signal is received, the original values of the temperature hysteresis increase, while in the Forced ON case, the maximum value of the heat pump is used. If an OFF signal is sent, the

Con el fin de fomentar la inserción de bombas de calor en estos programas, existen interfaces que tienen como objetivo simplificar y estandarizar la conexión de las bombas de calor individuales con los actores de la red o del mercado. En este estudio, se va a presentar la etiqueta Smart Grid Ready [58]. Esta interfaz propone cuatro estados discretos que vienen dadas directamente de un tercero. Para el caso, se necesitan dos señales lógicas. En el estado 1 (OFF), la bomba de calor debe estar apagado durante un máximo de 2 horas. En el estado 2 (Normal) la bomba de calor funciona en su funcionamiento predeterminado. El estado 3 (ON) se puede entender como una recomendación para encender la máquina, mientras que el estado 4 (Forced ON) es una orden obligatoria. Dentro de este último estado se puede hacer una diferenciación al considerar (o no) el hipotético calentador eléctrico. La interfaz Smart Grid Ready se utiliza en [35], [36].

Aunque no se explica explícitamente en los requisitos de la etiqueta, en ambos estudios, las consignas de los sistemas calefacción y ACS se cambian de acuerdo con la señal que se recibe de la interfaz Smart Grid Ready. Cuando se recibe una señal ON, los valores originales de la histéresis de temperatura aumentan, mientras que en el caso de Forced ON, se utiliza el valor máximo de la bomba de calor. Si se envía una señal OFF, la histéresis de temperatura se reduce al valor mínimo que permite el HP. Cuando se alcanza este valor, el HP vuelve a sus puntos de conexión normales.

La interfaz Smart Grid Ready es un control directo, en el que el controlador de la bomba de calor sigue una señal externa. Si se desea un análisis más exhaustivo de los controles directos e indirectos, se dirige al lector a [59]. Sin embargo, se puede utilizar tanto para controles basados en precios como en incentivos.

3. DECISIONES DE MODELIZACIÓN

Como se indicó anteriormente, la gran mayoría de los estudios seleccionados se basan en simulaciones puras. Al simular estrategias de respuesta a la demanda que incluyen bombas de calor domésticas, muchos autores utilizan software comercial que es adecuado para simulaciones a nivel de sistema y proporciona suficiente flexibilidad. Entre ellos, IDA-ICE ([9], [10], [14], [15]), TRNSYS ([11], [12]), Modelica ([13], [54], [60]) y MATLAB ([13], [37], [54]) son los que más aparecen en la literatura seleccionada.

El objetivo de esta sección es revisar los modelos que se utilizan para estas simulaciones; analizando las bases físicas y matemáticas, y subrayando los supuestos que se hacen en cada caso. Cuando el algoritmo de control se basa en un optimizador, los modelos normalmente simplificados que se utilizan en ese bucle no se analizan en esta sección. Sólo se consideran los modelos que se simulan en la emulación del sistema, ya que representan el comporta-

temperature hysteresis is reduced to the minimum value that the heat pump allows. When this value is reached, the heat pump returns to its normal set-points.

The Smart Grid Ready interface is a direct control, in which the heat pump controller follows an external signal. If a more thorough analysis of direct and indirect controls is desired, the reader is directed to [59]. However, it can be used for both price-based and incentive-based controls.

3. MODELLING DECISIONS

As stated previously, the vast majority of the selected studies are based on pure simulations. When simulating demand response strategies that include domestic heat pumps, many authors use commercial softwares that are suitable for system level simulations and provide enough flexibility. Among them, IDA-ICE ([9], [10], [14], [15]), TRNSYS ([11], [12]), Modelica ([13], [54], [60]) and MATLAB ([13], [37], [54]) are the ones that appear the most in the selected literature.

The objective of this section is to review the models that are used for these simulations; analysing the physical and mathematical bases, and underlining the assumptions that are made in each case. When the control algorithm is based on an optimiser, the normally simplified models that are used in that loop are not analysed in this section. Only the models that are simulated in the emulation of the system are considered since they represent the real behaviour of the system.

3.1 PERIPHERAL ELEMENTS

Even though the heat pump is the core element of the SH and DHW systems this article is focused on, the heat that it produces can be stored in other devices (normally water tanks). After, it is distributed through other elements (e.g. radiant floor or radiators) in order to maintain the temperature within some comfort levels in a dwelling. Thus, the effects that these insert in the dynamic response of the whole system are notorious and their modelling may have impacts on the quality of the results if the assumptions are not consciously considered.

3.1.1 BUILDING

The heat transfer phenomena that happens in a household is, by nature, complex and hard to capture by making use of pure mathematical tools, it is normally assumed that the main effects are the ones that are shown in Fig. 2. The internal mass of the building (which is formed by furniture and internal constructive elements) may work as a thermal capacitor that is able to store or supply heat despite not being a source as such.

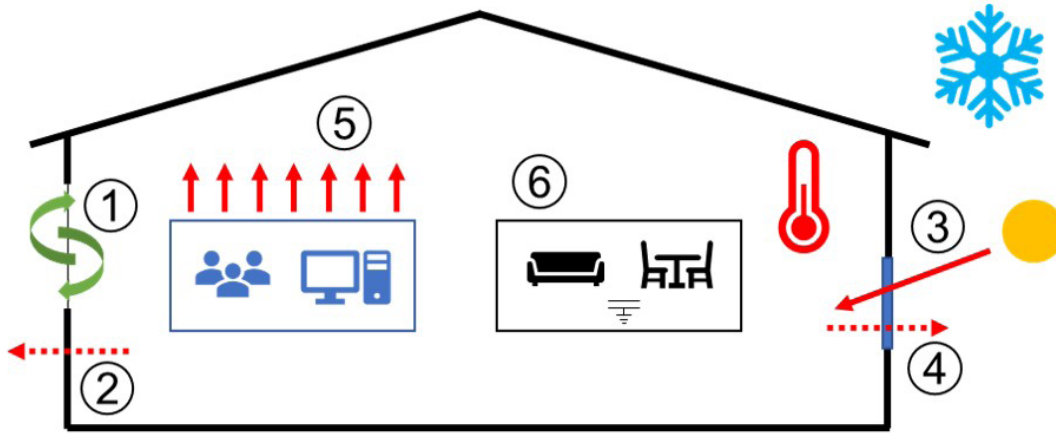


Fig.2. Schematic representation of the main heat transfer phenomena within a dwelling, not considering the heating system.
 1.- Ventilation, 2.- Losses through walls, 3.- Solar gain, 4.- Losses through windows, 5.- Internal heat gains and 6.- Internal mass.

miento real del sistema.

3.1 ELEMENTOS PERIFÉRICOS

A pesar de que la bomba de calor es el elemento central de los sistemas de calefacción y ACS en los que se centra este artículo, el calor que produce se puede almacenar en otros dispositivos (normalmente tanques de agua). Después, se distribuye a través de otros elementos (por ejemplo, suelo radiante o radiadores) con el fin de mantener la temperatura dentro de algunos niveles de confort en una vivienda. Por lo tanto, los efectos que estos insertan en la respuesta dinámica de todo el sistema son notorios y su modelado puede tener impactos en la calidad de los resultados si los supuestos no se consideran conscientemente.

3.1.1 EDIFICIO

Los fenómenos de transferencia de calor que ocurren en un edificio son, por naturaleza, complejos y difíciles de describir haciendo uso de herramientas puramente matemáticas. Normalmente se asume que los efectos principales son los que se muestran en la Fig. 2. La masa interna del edificio (que está formada por muebles y elementos constructivos internos) puede funcionar como un condensador térmico que es capaz de almacenar o suministrar calor a pesar de no ser una fuente como tal.

Una forma común de representar estas transferencias de calor es mediante un circuito RC equivalente. En estos circuitos, las transferencias de calor están

A common way to represent these heat transfers is by an equivalent RC circuit. In these circuits, the heat transfers are separated from each other and modelled by thermal resistances and capacitors. In Fig. 3, it can be seen an example that includes the transmission losses through the walls, through the windows, the capacitor of the interior air itself, the internal mass and the solar gain, which impacts directly in the air node. As a result, a system of differential equations is created, which can be solved as a state-space system, for example.

This representation is widely used, since it is a graphical method to visualise the system that results in a linear equation system. A model that consists of 5 resistances and 1 capacitor (5R1C) and which is based on the ISO 13790 (or inspired by it) is implemented in [17], [19], [24], [35], [54]. Other studies make use of smaller circuits, such as [22], [23], [33], [40], [42], [45], [55], [57], while others insert high order circuits that may include the internal heat transfer between rooms, as in [18], [21], [34], [37], [41], [46], [53], [61]. When an explicit thermal RC circuit is employed, a common assumption is the uniform temperature in the building. When that is the case the model will not be able to capture the heat transfer within the dwelling.

It cannot be ignored that demand response programs may affect the thermal comfort that the final user may sense since it changes the normal consumption patterns. In [12], [14]–[16], [18], [19], [21]–[24], [26], [27], [29], [30], [32]–[34], [38], [41], [46], [53], [55] this discomfort analysis is introduced up to

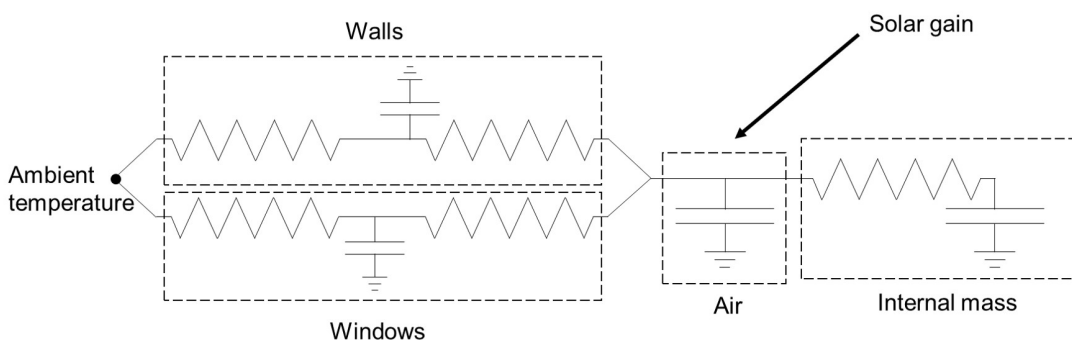


Fig.3. Example of a thermal RC circuit.

separadas entre sí y modeladas por resistencias térmicas y condensadores. En la Fig. 3, se puede ver un ejemplo que incluye las pérdidas de transmisión a través de las paredes, a través de las ventanas, el condensador del propio aire interior, la masa interna y la ganancia solar, que impacta directamente en el nodo de aire. Como resultado, se crea un sistema de ecuaciones diferenciales, que se puede resolver como un sistema espacio de estados, por ejemplo.

Esta representación es ampliamente utilizada, ya que es un método gráfico para visualizar el sistema que da como resultado un sistema de ecuaciones lineales. Un modelo que consta de 5 resistencias y 1 condensador (5R1C) y que se basa en la ISO 13790 (o inspirado en ella) se implementa en [17], [19], [24], [35], [54]. Otros estudios hacen uso de circuitos más pequeños, como [22], [23], [33], [40], [42], [45], [55], [57], mientras que otros insertan circuitos de alto orden que pueden incluir la transferencia de calor interna entre habitaciones, como en [18], [21], [34], [37], [41], [46], [53], [61]. Cuando se emplea un circuito RC térmico explícito, una suposición común es la temperatura uniforme en el edificio. Cuando ese es el caso, el modelo no podrá capturar la transferencia de calor dentro de la vivienda.

No se puede ignorar que los programas de respuesta a la demanda pueden afectar el confort térmico que el usuario final puede sentir, ya que cambia los patrones de consumo normales. En [12], [14]–[16], [18], [19], [21]–[24], [26], [27], [29], [30], [32]–[34], [38], [41], [46], [53], [55] este análisis de incomodidad se introduce hasta cierto punto. Un análisis exhaustivo de esto se puede encontrar en [52].

3.1.2 ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA TÉRMICA (TES)

Dado que los tanques de agua son, por mucho, los más comunes cuando se trata de TES en el sector residencial, este estudio se centrará en ellos. Hay principalmente tres métodos cuando se trata de modelar tanques de agua.

Se puede suponer que el agua en el interior está perfectamente mezclada y la temperatura es constante dentro del tanque, que es lo que se supone en [9], [17], [21], [31], [35], [37], [38], [46]. Este enfoque es elegido por muchos autores ya que es el más simple, no agrega no linealidades y puede entenderse como una opción conservadora (la estratificación puede mejorar el rendimiento general del sistema).

En segundo lugar, se puede suponer que el agua está perfectamente estratificada en dos volúmenes. Cada uno de ellos funcionará como volúmenes separados o como un solo volumen dependiendo del estado actual del tanque. Esto se ve en [43].

Por último, se puede considerar la estratificación que ocurre naturalmente, lo que lleva al modelo más re-

a point. A thorough analysis of this can be found in [52].

3.1.2 THERMAL ENERGY STORAGE (TES)

Since water tanks are by far the most common when it comes to TES in the residential sector, this study is going to focus on them. There are mainly three methods when it comes to modelling water tanks.

It can be assumed that the water inside is perfectly mixed and the temperature is constant within the tank, which is the assumptions made in [9], [17], [21], [31], [35], [37], [38], [46]. This approach is chosen by many authors since is the simplest one, it adds no non-linearities and it can be understood as a conservative choice (stratification may improve the overall performance of the system).

Second, it can be assumed that the water is perfectly stratified in two volumes. Each of them will work as separate volumes or as a single volume depending on the current state of the TES. This is seen in [43].

Lastly, the stratification that naturally happens can be considered, which leads to the most realistic model of them all, but also to the most complex from the simulation point of view. This is the decision taken in [10], [12], [14], [15], [18], [19], [24], [32], [34], [53], [54], [61].

3.1.3 HEAT DISTRIBUTION

Heat can be distributed through the building via classic radiators, radiant floor or fan coils when a heat pump is present, being the former two the most found solutions. Radiators are used in [12], [18], [19], [31], [35], [37], [41], [47], [54], [61]; radiant floor in [9]–[12], [14], [21]–[24], [30], [33]–[35], [38], [41], [46], [53], [62] and fan-coils in [32], [40].

With respect to the modelling, it is the part of the whole system that is most overlooked: authors do not often consciously reflect how the heat distribution elements are introduced in the simulations.

Within thermal RC circuits, radiant floor (the most repeated heat distribution system) may be explicitly represented by a heat source as done in [53].

3.2 HEAT PUMP

The heat pump is the central part of the systems this article reviews. It is the thermal machine that heats up the fluid (most commonly water) that is distributed through the building for SH or DHW purposes. The air-source heat pump is the obvious choice for most households, as reflected in [11]–[15], [17], [18], [32], [34]–[37], [39]–[41], [43]–[47], [53]–[55], [57], [61], [63]–[65]. Ground-source heat pumps are considered in [9], [10], [22]–[24], [28], [30], [38], [46], [47], [65].

alista de todos, pero también al más complejo desde el punto de vista de la simulación. Esta es la decisión tomada en [10], [12], [14], [15], [18], [19], [24], [32], [34], [53], [54], [61].

3.1.3 DISTRIBUCIÓN DEL CALOR

El calor se puede distribuir a través del edificio a través de radiadores clásicos, suelo radiante o ventilosconvectores (fan coils) cuando hay una bomba de calor, siendo las dos primeras las soluciones más encontradas. Los radiadores se utilizan en [12], [18], [19], [31], [35], [37], [41], [47], [54], [61]; suelo radiante en [9]–[12], [14], [21]–[24], [30], [33]–[35], [38], [41], [46], [53], [62] y fan-coils en [32], [40].

Con respecto al modelado, es la parte de todo el sistema que menos se analiza: los autores a menudo no reflejan conscientemente cómo se introducen los elementos de distribución de calor en las simulaciones.

Dentro de los circuitos RC térmicos, el suelo radiante (el sistema de distribución de calor más repetido) puede ser representado explícitamente por una fuente de calor como se hace en [53].

3.2 BOMBA DE CALOR

La bomba de calor es la parte central de los sistemas que este artículo revisa. Es la máquina térmica que calienta el fluido (más comúnmente agua) que se distribuye a través del edificio para fines de calefacción o ACS. La bomba de calor aerotérmica es la opción obvia para la mayoría de los hogares, como se refleja en [11]–[15], [17], [18], [32], [34]–[37], [39]–[41], [43]–[47], [53]–[55], [57], [61], [63]–[65]. Bombas de calor geotérmicas se consideran en [9], [10], [22]–[24], [28], [30], [38], [46], [47], [65].

Dado que es un elemento particularmente difícil de modelar en su conjunto haciendo uso de ecuaciones basadas en la física pura, la mayoría de los análisis toman enfoques de tipo caja negra para resolver el problema. La introducción de modelos detallados y basados en la física incluye no linealidades que deben resolverse para cada iteración, aumentando el tiempo computacional. Por lo tanto, la mayoría de los autores optan por representarlos como cajas negras con ecuaciones simplistas que definen la relación entre la potencia consumida y el calor entregado al fluido, es decir, el valor COP. La excepción notable es [19] donde se implementan modelos semi-empíricos para los intercambiadores de calor y un compresor variable dependiente de la eficiencia isentrópica. El resto de los autores no hacen hincapié en los componentes internos de la bomba de calor y la modelan principalmente con los datos proporcionados por los fabricantes.

Cuando la bomba de calor es geotérmica, y suponiendo que la temperatura del suelo será constan-

te. Since it is a particularly difficult element to model in its whole by making use of pure physics-based equations, most analyses take black-box kind of approaches to solve the problem. Introducing detailed and physics-based models includes non-linearities that must be solved for each iteration, rising the computational time. Therefore, the majority of authors choose to represent them as black boxes with simplistic equations that define the relation between the power consumed and the heat delivered to the fluid, i.e. the COP value. The notable exception is [19] where semi-empirical models for the heat exchangers and a variable isentropic efficiency dependent compressor are implemented. The rest of the authors do not emphasise on the inner components of the heat pump and they mainly model it with the data provided by manufacturers.

When the heat pump is ground-source, and assuming that the ground temperature will be constant during the whole year, a constant COP may be assumed as done in [22], [23]. A slightly more complicated approach is to suppose a constant second law efficiency as in [43].

However, most articles consider some kind of mathematical relation for the COP, the input power or the capacity that involves the condensing and evaporative temperatures. Based on data that manufacturers provide, and that consider the real-world functioning of the heat pump (the defrost cycles, for example), a function is deduced. In [17], [18], [24], [34], [35], [44] this fact is specifically remarked.

4. CONTROL APPROACHES

In this section, the articles that have been reviewed will be classified according to the type of control strategy that is implemented. After, some aspects that are believed to be important from a control point of view will be discussed.

In the most general approach, building flexibility strategies can be divided into Rule Based Controls (RBC) and controls that imply an optimisation process. On the one hand, in RBC, pre-defined master rules are applied to the system. On the other hand, there are some control strategies that work with optimisers. That is, broadly speaking, an algorithm calculates how the system should function in order to optimise some indicator that is believed to be essential: normally the cost, the thermal discomfort that the user perceives and/or a grid-related parameter. Even though, not explicitly mentioned, the optimisers that include a model may be called Model Predictive Controllers (MPC), which is the way it will be referenced now on.

4.1 RBC

An example of an RBC demand response can be seen in [15], where three controls are presented. The

te durante todo el año, se puede suponer un COP constante como se hace en [22], [23]. Un enfoque un poco más complicado es suponer una eficiencia constante de la segunda ley como en [43].

Sin embargo, la mayoría de los artículos consideran algún tipo de relación matemática para el COP, la potencia de entrada o la capacidad que implica las temperaturas de condensación y evaporación. Basándose en los datos que proporcionan los fabricantes, y que consideran el funcionamiento real de la bomba de calor (los ciclos de desescarche, por ejemplo), se deduce una función. En [17], [18], [24], [34], [35], [44] este hecho se señala específicamente.

4. ENFOQUES DE CONTROL

En esta sección, los artículos que han sido revisados se clasificarán según el tipo de estrategia de control que se implemente. Después, se discutirán algunos aspectos que se consideran importantes desde el punto de vista del control.

En el enfoque más general, las estrategias de flexibilidad en edificios se pueden dividir en controles basados en reglas (RBC) y controles que implican un proceso de optimización. Por un lado, en RBC, se aplican al sistema reglas maestras predefinidas. Por otro lado, hay algunas estrategias de control que funcionan con optimizadores. Es decir, a grandes rasgos, un algoritmo calcula cómo debe funcionar el sistema para optimizar algún indicador que se considera esencial: normalmente el coste, la incomodidad térmica que percibe el usuario y/o un parámetro relacionado con la red. Aunque, no se mencionan explícitamente, los optimizadores que incluyen un modelo pueden llamarse Controladores Predictivos de Modelos (MPC), que es la forma en que se le hará referencia ahora en adelante.

4.1 RBC

Un ejemplo de una respuesta de demanda RBC se puede ver en [15], donde se presentan tres controles.

first one uses the day-ahead spot electricity price to fix the temperature set-points for the heating system, the second one is similar to the first one but aims to reduce equivalent CO₂ emissions of the system, while in the third one the set-points are altered according to a schedule.

In [10], a similar approach is implemented too. In that article, two kind of control algorithms are discussed. In the first one, the current electricity price is compared to certain limits and the temperature set-points are boosted or not depending on that comparison and the current states of the temperatures. In a second part, the trend of the day-ahead spot electricity price is also taken into account to make that decision.

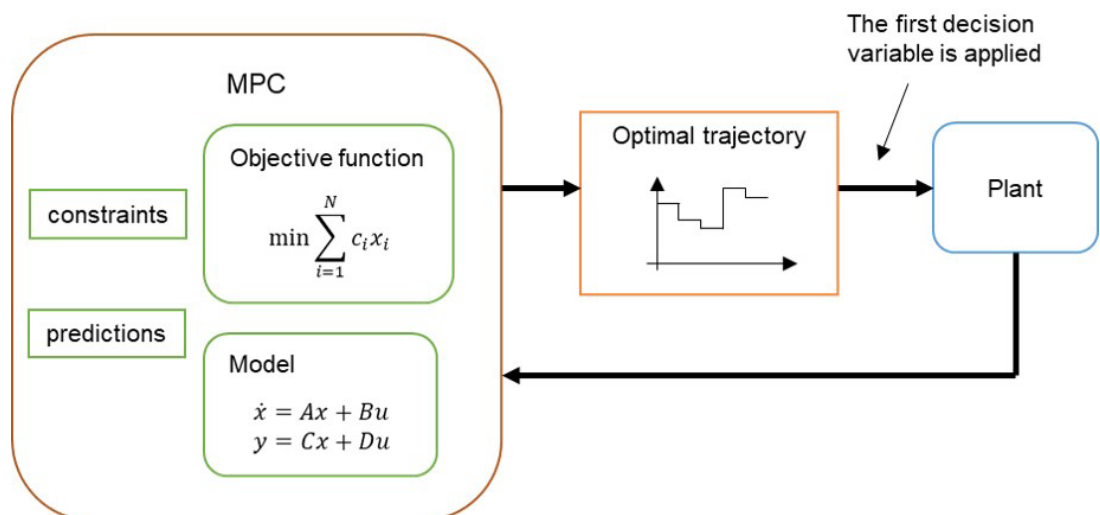
In fact, the use of the day-ahead electricity price in RBC or controls that include optimisers is a widespread practice that can be observed also in [9], [14], [17]–[19], [21]–[23], [25]–[27], [30]–[34], [37], [53].

The implementation of RBC is rather simple (if we compare it to the more complex MPC), but in [63] it is concluded that the improvements of RBC are only about 2-5 % lower than MPC. However, the definition of universal rules that can be applied to all environments, every moment and that can improve the overall performance of the system is not straight-forward and it can lead to non-expected outputs.

4.2 MPC

MPC is a method of process control in which a model of the system that is controlled is used in order to optimise a variable or a set of variables. Though it is not strictly mandatory or necessary, variable constraints are often introduced in the controller, which consider the maximum and/or the minimum values that certain variables can take. It is also very common to include forecasts for external variables (disturbances), i.e. variables that do interfere in the internal variables, but are not impacted by them. The

Fig.4. Block diagram that represents the general operation of an MPC.



El primero utiliza el precio de la electricidad del mercado diario para fijar las consignas de temperatura para el sistema de calefacción, el segundo es similar al primero pero tiene como objetivo reducir las emisiones equivalentes de CO₂ del sistema, mientras que en el tercero las consignas se alteran de acuerdo con un programa.

En [10], también se implementa un enfoque similar. En ese artículo, se discuten dos tipos de algoritmos de control. En la primera, el precio actual de la electricidad se compara con ciertos límites y las consignas temperatura aumentan o no dependiendo de esa comparación y los estados actuales de las temperaturas. En una segunda parte, también se tiene en cuenta la tendencia del precio de la electricidad para tomar esa decisión.

De hecho, el uso del precio del mercado diario de la electricidad en RBC o controles que incluyen optimizadores es una práctica generalizada que se puede observar también en [9], [14], [17]–[19], [21]–[23], [25]–[27], [30]–[34], [37], [53].

La implementación de RBC es bastante simple (si lo comparamos con un MPC más complejo), pero en [63] se concluye que las mejoras de RBC son sólo un 2-5 % más bajas que MPC. Sin embargo, la definición de reglas universales que se pueden aplicar a todos los entornos, en cada momento y que pueden mejorar el rendimiento general del sistema no es sencilla y puede dar lugar a resultados no esperados.

4.2 MPC

MPC es un método de control de procesos en el que se utiliza un modelo del sistema que se controla con el fin de optimizar una variable o un conjunto de variables. Aunque no es estrictamente obligatorio o necesario, las restricciones a menudo se introducen en el controlador, que consideran los valores máximos y/o mínimos que ciertas variables pueden tomar. También es muy común incluir pronósticos para variables externas (perturbaciones), es decir, variables que interfieren en las variables internas, pero no se ven afectadas por ellas. Los principales elementos de un MPC se representan en la Fig. 4.

Uno de los requisitos intrínsecos de un MPC es la formulación matemática del propio modelo. Este modelo debe ser lo suficientemente preciso como para capturar el rendimiento dinámico del sistema, pero los modelos detallados conducen a modelos altamente no lineales que son difíciles de optimizar y requieren una gran cantidad de tiempo computacional. En [33] se revisan diferentes enfoques para el modelo de bomba de calor que se inserta en un MPC. Se identifican modelos que introducen no linealidades, junto con enfoques lineales más simples. Esta selección podría ser crucial ya que define el requisito mínimo del solucionador, es decir, un optimizador lineal no puede trabajar con un modelo no

main elements of an MPC are depicted in Fig. 4.

One of the intrinsic requirements of an MPC is the mathematical formulation of the model itself. This model should be precise enough to capture the dynamic performance of the system, but detailed models lead to highly non-linear models which are hard to optimise and require a great amount of computational time. In [33] different decisions for the heat pump model that is inserted in an MPC are reviewed. Models that introduce non-linearities are identified, along with simpler linear approaches. This selection might be crucial since it defines the minimum requirement of the solver, i.e. a linear solver cannot work with a non-linear model. It also affects the definition of control variables.

It is stated that in the most advanced non-linear approaches, the frequency of the compressor is directly the control variable. This strategy can be understood as the most straightforward, but complex at the same time from the point of view of the solver. When the COP of the heat pump is considered (and not the heating capacity and the compressor power) the solving problem becomes non-linear when water temperature is included.

In [19], for instance, COP is divided into a linear and a quadratic section, and heat flows from the heat pump are the input variables. In [66], the electrical power of the compressor is defined as an input variable, and not the heat flow. Even if these variables are included in the input vector, it should be remarked that in a real-world application, and considering the low-level controller of the thermal system and the heat pump, it is not feasible to work with these variables. Actually, it is understood that this low-level controller will work with the temperature profile that is obtained from the MPC, as depicted in Fig. 5.

Another aspect that is overlooked is the difference between the models used for emulation of the sys-

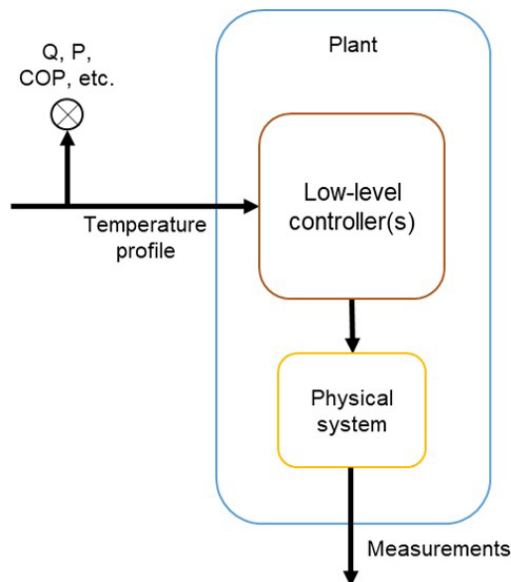


Fig.5. Detail of the inner structure of the plant, which includes the low-level controller(s).

lineal. También afecta a la definición de variables de control.

Se afirma que en los enfoques no lineales más avanzados, la frecuencia del compresor es directamente la variable de control. Esta estrategia puede entenderse como la más directa, pero compleja al mismo tiempo desde el punto de vista del optimizador. Cuando se considera el COP de la bomba de calor (y no la capacidad de calentamiento y la potencia del compresor) el problema de optimización se vuelve no lineal cuando se incluye la temperatura del agua.

En [19], por ejemplo, el COP se divide en una sección lineal y una sección cuadrática, y los flujos de calor de la bomba de calor son las variables de entrada. En [66], la potencia eléctrica del compresor se define como una variable de entrada, y no el flujo de calor. Incluso si estas variables se incluyen en el vector de entrada, debe señalarse que en una aplicación del mundo real, y considerando el controlador de bajo nivel del sistema térmico y la bomba de calor, no es factible trabajar con estas variables. En realidad, se entiende que este controlador de bajo nivel funcionará con el perfil de temperatura que se obtiene del MPC, como se muestra en la Fig. 5.

Otro aspecto que se pasa por alto es la diferencia entre los modelos utilizados para la emulación del sistema y los modelos que se introducen en el MPC. Si se utilizan los mismos modelos de orden inferior para ambos procesos, el rendimiento general del sistema se sobreestimarán, ya que no tiene en cuenta la diferencia entre los dos. En [19], [24], [25], [33] se introducen diversos modelos para los tanques, las bombas de calor o el edificio.

También debe considerarse el error de pronóstico que se está cometiendo en las variables de perturbación, es decir, principalmente, las predicciones meteorológicas. Habrá una diferencia entre las variables meteorológicas predichas (temperatura ambiente y radiación solar) y los valores reales. Si el autor asume que no hay ningún error entre ellos, también están sobreestimando su controlador. Un MPC estocástico (SMPC) es capaz de introducir en el solucionador esta incertidumbre como se demuestra en [27].

Un MPC es una estrategia mucho más compleja que requiere un marco más avanzado cuando se trata de la simulación. Se deben elaborar modelos más sencillos para la optimización, y ese proceso puede implicar una redefinición de la relación entre los elementos individuales (bomba de calor, tanques, etc.). Además, se deben incluir las predicciones meteorológicas, ya que jugarán un papel importante en el rendimiento térmico del edificio. Esta predicción debe obtenerse continuamente de un servicio externo. Además, si se implementa un MPC en un entorno residencial del mundo real a gran escala, se deben obtener modelos individuales para cada edificio, que pueden ser factibles en un bloque de aparta-

tem and the models that are introduced in the MPC. If the same low-order models are used for both processes, the general performance of the system will be overestimated, since it does not consider the difference between the two. In [19], [24], [25], [33] different models for tanks, heat pump or the building are introduced.

It should also be considered the forecasting error that is being made in the disturbance variables, i.e. mainly, weather predictions. There will be a difference between the predicted weather variables (ambient temperature and solar radiation) and the real values. If the author assumes that there is no error between them, they are also overestimating their controller. A stochastic MPC (SMPC) is able to introduce in the solver this uncertainty as demonstrated in [27].

An MPC is a much more complex strategy that requires a more advanced framework when it comes to simulation. Simpler models must be elaborated for the optimisation, and that process may imply a redefinition of the relation between the individual elements (heat pump, tanks, etc.). Also, weather predictions must be included since they will play an important role in the thermal performance of the building. This prediction should be obtained continuously from an external service. Furthermore, if an MPC is implemented in a large-scale real-world residential environment, individual models for each building should be obtained, which may be feasible in a block of apartments, but not so much for detached households.

5. CONCLUSIONS

A review of demand-side management programs that include heat pumps has been presented. Unlike other electrical appliances whose consumption cannot be shifted, heat pumps have appropriate properties for such programs. Even when no extra elements are inserted in the system, heat pumps can play a role in demand response. That is related to the existence of water tanks and the thermal inertia that the building has.

From the consumer's point of view, two main categories can be identified regarding demand response programs: price-based and incentive-based programs. For each of them, several studies have been enumerated. Though the number of price-based programs is higher, there are also incentive-based programs in which consumers are encouraged to participate in this kind of programs; not because of a direct reduction in the electricity bill, but because of the incentives they may receive for offering flexibility services to a grid agent.

In terms of modelling decisions, when it comes to the building, the RC representation is widely used. With different amount of detail (some consider

mentos, pero no tanto para hogares separados.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una revisión de los programas de gestión de la demanda que incluyen bombas de calor. A diferencia de otros aparatos eléctricos cuyo consumo no se puede retrasar o adelantar, las bombas de calor tienen propiedades apropiadas para tales programas. Incluso cuando no se insertan elementos adicionales en el sistema, las bombas de calor pueden desempeñar un papel en la respuesta a la demanda. Eso está relacionado con la existencia de tanques de agua y la inercia térmica que tiene el edificio.

Desde el punto de vista del consumidor, se pueden identificar dos categorías principales con respecto a los programas de respuesta a la demanda: los programas basados en precios y los programas basados en incentivos. Para cada uno de ellos, se han enumerado varios estudios. Aunque el número de programas basados en precios es mayor, también hay programas basados en incentivos en los que se alienta al consumidor a participar en este tipo de programas; no debido a una reducción directa en la factura de electricidad, sino debido a los incentivos que pueden recibir por ofrecer servicios de flexibilidad a un agente de red.

En términos de decisiones de modelado, cuando se trata del edificio, la representación RC es ampliamente utilizada. Con diferente nivel de detalle (algunos consideran solo una resistencia, mientras que otros tienen en cuenta la distribución de la temperatura dentro del edificio), los estudios analizados utilizan estos circuitos para construir modelos de caja gris relativamente simples que ofrecen tiempos computacionales cortos. Algunos de los estudios se basan en la norma ISO 13790 (un circuito térmico 5R1C). Asimismo, se ha remarcado cuando se tiene en cuenta la incomodidad térmica del usuario. Este efecto es crucial cuando se inserta un optimizador, ya que podría cambiar las consignas de temperatura.

Los modelos de tanques de agua generalmente consideran la estratificación. Este efecto se puede despreciar en el modelo interno dentro del optimizador.

En cuanto a las estrategias de control, se han identificado dos grupos principales: RBC y MPC. En el primero, se insertan reglas relativamente simples para controlar el sistema. A pesar de que estas estrategias pueden conducir a peores resultados que un MPC, su uso es alentado por algunos autores. Por otro lado, MPC es un enfoque más sofisticado que necesita modelos internos para todos los componentes. Además, su implementación en el mundo real es más complicado debido a errores de predicción en las previsiones meteorológicas. Para resolver eso, se debe introducir un MPC estocástico, pero este enfoque convierte al optimizador en un problema mate-

just a resistance while others take into account the temperature distribution within the building), the analysed studies use these circuits to build relatively simple grey-box models that offer short computational times. Some of the studies are based on the ISO 13790 (a 5R1C thermal circuit). Also, it has been remarked when the thermal discomfort of the user is considered. This effect is crucial when an optimiser is inserted since it could change the temperature set-points.

The water tank models usually consider stratification. This effect can be neglected in the inner model inside the optimiser.

Regarding the control strategies, two main groups have been identified: RBC and MPC. In the former, relatively simple rules are inserted for controlling the system. Despite the fact that these strategies may lead to worse results than an MPC, its use is encouraged by some authors. On the other hand, MPC is a more sophisticated approach that needs internal models for all components. Also, its real-world implementation is more challenging due to prediction errors in weather forecasts. In order to solve that, a stochastic MPC should be introduced, but this approach turns the optimiser into a bigger mathematical problem.

ACKNOWLEDGMENTS

The research leading to these results was developed within the BEROGRID project, alongside DOMUSA TEKNIK, financed by the Basque Government (Spain). Also, it has been funded by the program BIKAINTEK 2019 by the same institution.

mático más grande.

RECONOCIMIENTOS

La investigación que ha dado lugar a estos resultados se ha desarrollado dentro del proyecto BERO-GRID, junto con DOMUSA TEKNIK, financiado por el Gobierno Vasco (España). Asimismo, ha sido financiado por el programa BIKAINTEK 2019 por la misma institución.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] P. Carroll, M. Chesser, and P. Lyons, "Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 134. Elsevier Ltd, Dec. 01, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110275.
- [2] "Energy statistics - an overview - Statistics Explained." https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption (accessed Jun. 04, 2021).
- [3] eurostat, "Energy consumption in households - Statistics Explained." https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_consumption_in_households (accessed Jan. 25, 2021).
- [4] "2050 long-term strategy | Climate Action." https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en (accessed Jun. 04, 2021).
- [5] "Market Data - EHPA." <https://www.ehpa.org/market-data/> (accessed Jun. 04, 2021).
- [6] "Statistics | Eurostat." https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ind_ren/default/table?lang=en (accessed Jun. 04, 2021).
- [7] H. T. Haider, O. H. See, and W. Elmenreich, "A review of residential demand response of smart grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 59. Elsevier Ltd, pp. 166–178, Jun. 01, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.01.016.
- [8] Paolo Bertoldi, Paolo Zancanella, Benigna Boza-Kiss, and European Commission. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport., Demand response status in EU Member States. Publications Office, 2016.
- [9] V. Arabzadeh, B. Alimohammadisagvand, J. Jokisalo, and K. Siren, "A novel cost-optimizing demand response control for a heat pump heated residential building Article History," doi: 10.1007/s12273-017-0425-5.
- [10] B. Alimohammadisagvand, J. Jokisalo, and K. Siren, "Comparison of four rule-based demand response control algorithms in an electrically and heat pump-heated residential building," *Applied Energy*, vol. 209, pp. 167–179, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.088.
- [11] A. Arteconi and F. Polonara, "Assessing the demand side management potential and the energy flexibility of heat pumps in buildings," *Energies*, vol. 11, no. 7, 2018, doi: 10.3390/en11071846.
- [12] A. Arteconi, N. J. Hewitt, and F. Polonara, "Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems," *Applied Thermal Engineering*, vol. 51, no. 1–2, pp. 155–165, 2013, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2012.09.023.
- [13] E. Birrer, C. Picard, P. Huber, D. Bolliger, A. Klapproth, and B. Edith Birrer info, "Demand response optimized heat pump control for service sector buildings A modular framework for simulation and building operation," *Computer Science - Research and Development*, vol. 32, pp. 25–34, 2017, doi: 10.1007/s00450-016-0320-9.
- [14] J. Clauß and L. Georges, "Model complexity of heat pump systems to investigate the building energy flexibility and guidelines for model implementation," *Applied Energy*, vol. 255, no. September, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113847.
- [15] J. Clauß, S. Stinner, I. Sartori, and L. Georges, "Predictive rule-based control to activate the energy flexibility of Norwegian residential buildings: Case of an air-source heat pump and direct electric heating," *Applied Energy*, vol. 237, pp. 500–518, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.12.074.
- [16] R. de Coninck, R. Baetens, D. Saelens, A. Woyte, and L. Helsen, "Rule-based demand-side management of domestic hot water production with heat pumps in zero energy neighbourhoods," *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 7, no. 4, pp. 271–288, Jul. 2014, doi: 10.1080/19401493.2013.801518.
- [17] T. Dengiz, P. Jochem, and W. Fichtner, "Demand response with heuristic control strategies for modulating heat pumps," *Applied Energy*, vol. 238, pp. 1346–1360, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.12.008.
- [18] C. Finck, R. Li, R. Kramer, and W. Zeiler, "Quantifying demand flexibility of power-to-heat and thermal energy storage in the control of building heating systems," *Applied Energy*, vol. 209, pp. 409–425, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.11.036.
- [19] D. Fischer, J. Bernhardt, H. Madani, and C. Wittwer, "Comparison of control approaches for variable speed air source heat pumps considering time variable electricity prices and PV," *Applied Energy*, vol. 204, pp. 93–105, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.110.
- [20] D. Fischer and H. Madani, "Smart Meter Enabled Control for Variable Speed Heat Pumps to Increase PV Self-Consumption Photovoltaics for Swedish Prosumers View project Ground Source Heat Pumps for Swedish multi-family houses: innovative co-generation and thermal storage strategies Vi," no. August, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.2566.3762.
- [21] H. Golmohamadi, K. Guldstrand Larsen, P. Gjøøl Jensen, and I. Riaz Hasrat, "Optimization of power-to-heat flexibility for residential buildings in response to day-ahead electricity price," *Energy and Buildings*, vol. 232, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110665.
- [22] R. Halvgaard, N. K. Poulsen, H. Madsen, and J. B. Jørgensen, "Economic Model Predictive Control for building climate control in a Smart Grid," 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, ISGT 2012, pp. 1–6, 2012, doi: 10.1109/ISGT.2012.6175631.
- [23] M. U. Kajgaard, J. Mogensen, A. Wittendorff, A. T. Veress, and B. Biegel, "Model predictive control of domestic heat pump," in *Proceedings of the American Control Conference*, 2013, pp. 2013–2018, doi: 10.1109/acc.2013.6580131.
- [24] K. Klein, S. Herkel, H. M. Henning, and C. Felsmann, "Load shifting using the heating and cooling system of an office building: Quantitative potential evaluation for different flexibility and storage options," *Applied Energy*, vol. 203, pp. 917–937, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.06.073.

- [25] Z. Lee, K. Gupta, K. J. Kircher, and K. M. Zhang, "Mixed-integer model predictive control of variable-speed heat pumps," *Energy and Buildings*, vol. 198, pp. 75–83, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.05.060.
- [26] F. Oldewurtel et al., "Energy efficient building climate control using Stochastic Model Predictive Control and weather predictions," in *Proceedings of the 2010 American Control Conference, ACC 2010*, 2010, pp. 5100–5105, doi: 10.1109/acc.2010.5530680.
- [27] F. Oldewurtel et al., "Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control," *Energy and Buildings*, vol. 45, pp. 15–27, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.09.022.
- [28] F. Pallonetto, M. de Rosa, F. Milano, and D. P. Finn, "Demand response algorithms for smart-grid ready residential buildings using machine learning models," *Applied Energy*, vol. 239, pp. 1265–1282, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.02.020.
- [29] C. Patyn, F. Ruelens, and G. Deconinck, "Comparing neural architectures for demand response through model-free reinforcement learning for heat pump control," in *2018 IEEE International Energy Conference, ENERGYCON 2018*, Jun. 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ENERGYCON.2018.8398836.
- [30] L. Romero Rodríguez, J. Sánchez Ramos, S. Álvarez Domínguez, and U. Eicker, "Contributions of heat pumps to demand response: A case study of a plus-energy dwelling," *Applied Energy*, vol. 214, pp. 191–204, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.01.086.
- [31] J. Salpakari and P. Lund, "Optimal and rule-based control strategies for energy flexibility in buildings with PV," *Applied Energy*, vol. 161, pp. 425–436, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.10.036.
- [32] L. Schibuola, M. Scarpa, and C. Tambani, "Demand response management by means of heat pumps controlled via real time pricing," *Energy and Buildings*, vol. 90, pp. 15–28, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.12.047.
- [33] C. Verhelst, F. Logist, J. van Impe, and L. Helsen, "Study of the optimal control problem formulation for modulating air-to-water heat pumps connected to a residential floor heating system," *Energy and Buildings*, vol. 45, pp. 43–53, Feb. 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.10.015.
- [34] E. Vrettos, K. Lai, F. Oldewurtel, and G. Andersson, "Predictive Control of buildings for Demand Response with dynamic day-ahead and real-time prices," in *2013 European Control Conference, ECC 2013*, 2013, pp. 2527–2534, doi: 10.23919/ecc.2013.6669762.
- [35] D. Fischer, T. Wolf, J. Wapler, R. Hollinger, and H. Madani, "Model-based flexibility assessment of a residential heat pump pool," *Energy*, vol. 118, pp. 853–864, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.energy.2016.10.111.
- [36] D. Fischer, M. A. Triebel, and O. Selinger-Lutz, "A Concept for Controlling Heat Pump Pools Using the Smart Grid Ready Interface," in *Proceedings - 2018 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe, ISGT-Europe 2018*, Dec. 2018, pp. 1–6, doi: 10.1109/ISGTEurope.2018.8571870.
- [37] E. Georges, B. Cornélusse, D. Ernst, V. Lemort, and S. Mathieu, "Residential heat pump as flexible load for direct control service with parametrized duration and rebound effect," *Applied Energy*, vol. 187, pp. 140–153, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.11.012.
- [38] L. Martirano et al., "Demand Side Management in Microgrids for Load Control in Nearly Zero Energy Buildings," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 53, no. 3, pp. 1769–1779, May 2017, doi: 10.1109/TIA.2017.2672918.
- [39] F. L. Müller and B. Jansen, "Large-scale demonstration of precise demand response provided by residential heat pumps," *Applied Energy*, vol. 239, pp. 836–845, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.01.202.
- [40] D. Wang, S. Parkinson, W. Miao, H. Jia, C. Crawford, and N. Djilali, "Online voltage security assessment considering comfort-constrained demand response control of distributed heat pump systems," *Applied Energy*, vol. 96, pp. 104–114, 2012, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.12.005.
- [41] L. Zhang, N. Good, and P. Mancarella, "Building-to-grid flexibility: Modelling and assessment metrics for residential demand response from heat pump aggregations," *Applied Energy*, vol. 233–234, pp. 709–723, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.10.058.
- [42] S. Behboodi, D. P. Chassin, N. Djilali, and C. Crawford, "Transactive control of fast-acting demand response based on thermostatic loads in real-time retail electricity markets," *Applied Energy*, vol. 210, pp. 1310–1320, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.07.058.
- [43] M. Brunner, S. Tenbohlen, and M. Braun, "Heat pumps as important contributors to local demand-side management," 2013, doi: 10.1109/PTC.2013.6652381.
- [44] L. Kreuder and C. Spataru, "Assessing demand response with heat pumps for efficient grid operation in smart grids," *Sustainable Cities and Society*, vol. 19, pp. 136–143, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.scs.2015.07.011.
- [45] M. T. Muhssin, L. M. Cipcigan, N. Jenkins, S. Slater, M. Cheng, and Z. A. Obaid, "Dynamic Frequency Response from Controlled Domestic Heat Pumps," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 4948–4957, Sep. 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2017.2789205.
- [46] D. Patteeuw et al., "CO₂-abatement cost of residential heat pumps with active demand response: Demand- and supply-side effects," *Applied Energy*, vol. 156, pp. 490–501, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2015.07.038.
- [47] T. Sweetnam, M. Fell, E. Oikonomou, and T. Oreszczyn, "Domestic demand-side response with heat pumps: controls and tariffs," *Building Research and Information*, vol. 47, no. 4, pp. 344–361, May 2019, doi: 10.1080/09613218.2018.1442775.
- [48] S. A. Operador del Mercado Ibérico de Energía –Polo Español, "FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DIARIO."
- [49] S. A. Operador del Mercado Ibérico de Energía - Polo Español, "DETALLE DEL FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO INTRADIARIO." Accessed: May 11, 2021. [Online].

- [50] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA, "LOS MERCADOS DE SERVICIOS DE AJUSTE DEL SISTEMA ELECTRICO PENINSULAR ESPAÑOL."
- [51] M. Behrangrad, "A review of demand side management business models in the electricity market," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 47. Elsevier Ltd, pp. 270–283, Jul. 01, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.03.033.
- [52] A. L. A. da Fonseca, K. M. S. Chvatal, and R. A. S. Fernandes, "Thermal comfort maintenance in demand response programs: A critical review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 141. Elsevier Ltd, May 01, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.110847.
- [53] B. Baeten, F. Rogiers, and L. Helsen, "Reduction of heat pump induced peak electricity use and required generation capacity through thermal energy storage and demand response," *Applied Energy*, vol. 195, pp. 184–195, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.03.055.
- [54] U. I. Dar, I. Sartori, L. Georges, and V. Novakovic, "Advanced control of heat pumps for improved flexibility of Net-ZEB towards the grid," *Energy and Buildings*, vol. 69, pp. 74–84, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2013.10.019.
- [55] M. J. M. al Essa, "Demand response design of domestic heat pumps," *Designs*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, Mar. 2018, doi: 10.3390/designs2010001.
- [56] D. H. Han, K. J. Lee, and V. H. Kim, "The characteristics of condensation in brazed plate heat exchangers with different chevron angles," *Journal of the Korean Physical Society*, vol. 43, no. 1, pp. 66–73, 2003.
- [57] M. Pau, J. L. Cremer, F. Ponci, and A. Monti, "Impact of customers flexibility in heat pumps scheduling for demand side management," Jul. 2017, doi: 10.1109/EEEIC.2017.7977681.
- [58] "SG Ready-Label | Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V." <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/sg-ready/> (accessed Jun. 19, 2021).
- [59] D. Fischer and H. Madani, "On heat pumps in smart grids: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 70, pp. 342–357, Apr. 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2016.11.182.
- [60] E. Georges, B. Cornélusse, D. Ernst, V. Lemort, and S. Mathieu, "Residential heat pump as flexible load for direct control service with parametrized duration and rebound effect," *Applied Energy*, vol. 187, pp. 140–153, Feb. 2017, doi: 10.1016/J.APENERGY.2016.11.012.
- [61] D. Patteeuw and K. U. Leuven, "Residential buildings with heat pumps, a verified bottom-up model for demand side management studies Advanced Building Climate Control View project EFRO-SALK: GeoWatt View project," 2015. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/282575010>.
- [62] D. Vanhoudt, D. Geysen, B. Claessens, F. Leemans, L. Jespers, and J. van Bael, "An actively controlled residential heat pump: Potential on peak shaving and maximization of self-consumption of renewable energy," *Renewable Energy*, vol. 63, pp. 531–543, Mar. 2014, doi: 10.1016/j.renene.2013.10.021.
- [63] D. Fischer, J. Bernhardt, H. Madani, and C. Wittwer, "Comparison of control approaches for variable speed air source heat pumps considering time variable electricity prices and PV - Supplementary material," *Applied Energy*.
- [64] A. Parisio, C. Wiezorek, T. Kyntäjä, J. Elo, K. Strunz, and K. H. Johansson, "Cooperative MPC-Based Energy Management for Networked Microgrids," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 8, no. 6, pp. 3066–3074, Nov. 2017, doi: 10.1109/TSG.2017.2726941.
- [65] E. Sperber, U. Frey, and V. Bertsch, "Reduced-order models for assessing demand response with heat pumps – Insights from the German energy system," *Energy and Buildings*, vol. 223, p. 110144, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2020.110144.
- [66] S. Rastegarpour, S. Gros, and L. Ferrarini, "MPC approaches for modulating air-to-water heat pumps in radiant-floor buildings," *Control Engineering Practice*, vol. 95, p. 104209, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.CONENGPRAC.2019.104209.

“Cradle-to-cradle” architecture. Eco-effectiveness and quality of life

Arquitectura “cuna-a-cuna”. Ecoeficiencia y calidad de vida

M. J. Agudo-Martínez¹

ABSTRACT

In the 2002 book *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*, the authors, W. McDonough and M. Braungart, raised the social benefits associated with circular economies geared towards waste disposal. This proposed a radical revision of the design process based on three principles based on nature itself: the transformation of waste into raw materials, the use of clean and renewable energies and the commitment to natural and cultural diversity.

In this sense, today the Cradle to Cradle Certificate (C2C) has an international recognition in relation to the design and manufacture of products that advocate a Circular Economy. The revision of industrial production was thus proposed in an improved proposal, since the three Rs (recycle, reuse and reduce) of traditional environmentalism were insufficient to stop the unstoppable deterioration of the planet. Therefore, the novel factor was the management of waste and its reuse as raw material.

The objective of the work is to demonstrate the existence of practices related to this revisionism in the field of architecture, clarifying the existing relationships between sustainable housing and quality of life. Thus, for example, issues such as the use of natural lighting, cross ventilation, not only mean energy savings and self-sufficiency, but also require a new approach to the building from the beginning. All this from a new conception of environmental sustainability that brings architecture closer to industry and new technologies, but also with reuse of resources and use of local materials, and above all considering people and place, with community participation, community ties and solidarity.

The main conclusion is that this new ecological approach to architectural production is also compatible with other concepts such as Bioarchitecture and its wide range of possibilities, such as bioluminescence or bamboo construction, but also the Internet of Things (IOT), 3D printing or robotics. Architects such as Shigeru Ban or Simon Vélez adopt alternative forms that open new paths for architecture much more respectful of nature and landscape.

Key Words: Bioarchitecture, Cradle to Cradle (C2C), W. McDonough, Shigeru Ban, Simon Vélez. |

(1) ETSA Universidad de Sevilla. Reina Mercedes, 2 - 41012 – SEVILLA

1. INTRODUCCIÓN

La huella ecológica de la industria, incluida la industria de la construcción, tiene grandes repercusiones ambientales, económicas y sociales sobre el planeta. En ese sentido, cada vez resultan más preocupantes las alteraciones a las que es sometido el medio natural, las cuales vienen siendo evidenciadas por la comunidad científica desde hace varias décadas. Una de las primeras voces críticas en relación con la conciencia ambiental fue la investigadora Rachel Carson con su obra *Silent Spring* [1], una obra clave que sin duda contribuyó al desarrollo del actual Ecologismo.

Una década después, en el Informe que el Club de Roma encargó al MIT y que llevaba por título *The Limits to Growth* (1972), Donella Meadows, autora principal del mismo, se refería a los recursos limitados del planeta en un estudio que relacionaba economía, población, y medio ambiente [2].

Esta misma investigadora, especialista en dinámica de sistemas, trabajó además en varias pruebas piloto para el desarrollo de ecoaldeas¹ y granjas orgánicas, poniendo de manifiesto la necesidad de una reconciliación con el medio natural en lo que a formas de vida se refiere [3] [Fig.1].

Por otro lado, el término Desarrollo Sostenible se acuñó en la Conferencia de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo de 1987. Así, en el Informe Brundtland² titulado "Nuestro Futuro Común", se hacía una llamada a los gobiernos para minimizar el impacto negativo de la industria sobre el medio ambiente.

2. CALIDAD DE VIDA

En base al mencionado informe Brundtland, el problema principal que nos ocupa a nivel planetario es resolver la calidad de vida de los actuales habitantes,

1. INTRODUCTION

The ecological footprint of industry, including the construction industry, has major environmental, economic and social impacts on the planet. In this sense, the alterations to which the natural environment is subjected, which have been evidenced by the scientific community for several decades, are increasingly worrying. One of the first critical voices in relation to environmental awareness was the researcher Rachel Carson with her work *Silent Spring* [1] a key work that undoubtedly contributed to the development of current Environmentalism.

A decade later, in the Report commissioned by the Club of Rome from MIT entitled *The Limits to Growth* (1972), Donella Meadows, lead author of the report, referred to the planet's limited resources in a study linking the economy, population, and environment [2].

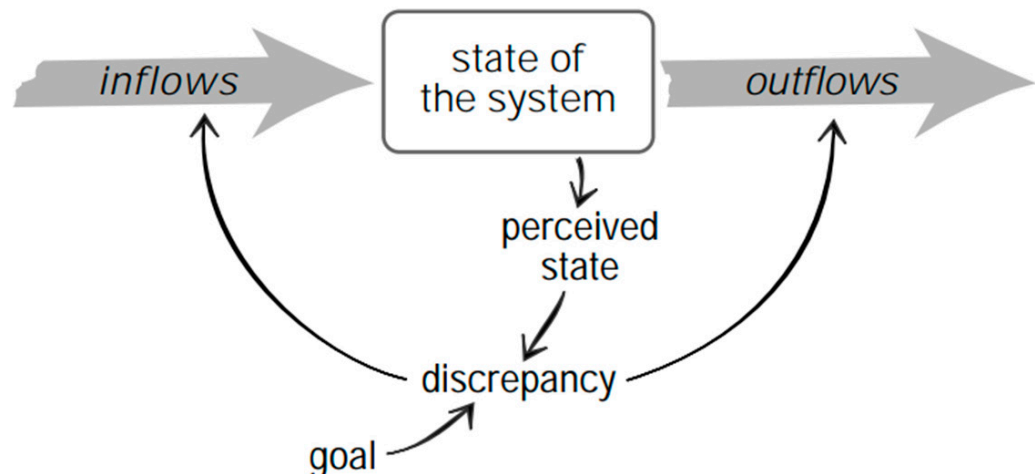
This same researcher, a specialist in systems dynamics, also worked on several pilot tests for the development of ecovillages¹ and organic farms, highlighting the need for reconciliation with the natural environment in terms of life forms [3] [Fig.1].

On the other hand, the term Sustainable Development was coined at the 1987 Conference of the World Commission on Environment and Development. Thus, in the Brundtland² Report entitled "Our Common Future", a call was made to governments to minimise the negative impact of industry on the environment.

2. QUALITY OF LIFE

On the basis of the Brundtland report, the main problem facing us at global level is to resolve the quality of life of the current inhabitants, without compromising that of future generations. The circular econo-

Fig.1.
Leverage Points.[3]



(1) A precursor of peaceful and collaborative communities can be cited as Moro with his *Utopia* (1516) (Moro, 2016). Utopian socialism also raised criticisms with proposals such as Robert Owen's *New Harmony* (1825), considered a pioneer of management, or Charles Fourier's *The Falanstery* (1870), an agricultural community of 300 families without wages or private property (Fourier, 2008).

(2) The proposal was built in Guise (1859-76) by Jean-Baptiste Godin.

sin comprometer la de las generaciones futuras. Las economías circulares orientadas a la eliminación de residuos planteadas en el libro *De la cuna a la cuna: Rediseñando la forma en que hacemos las cosas* [4] implican, sin lugar a dudas, beneficios sociales, económicos y medioambientales. Esto supone la necesidad de un enfoque interdisciplinar a fin de posibilitar la consecución de la consabida y anhelada sostenibilidad planetaria.

La principal aportación de McDonough y Braungart al postular el *Cradle to Cradle* supone el paso de la Ecoeficiencia (reducción de residuos) a la Ecoefectividad (reutilización de residuos). En ese sentido, el Certificado *Cradle to Cradle* (C2C) [5] cuenta con reconocimiento internacional, como garantía de que es posible la mejora de la regla de las tres R's de la Ecología (reciclar, reutilizar y reducir) considerando la interdependencia de las tres E's (Ecología, Economía, Equidad [8, 9]).

En el ámbito de la arquitectura, el concepto de "ciclo de vida" implicaría, por lo tanto, la reutilización de los materiales empleados en un edificio tras la vida útil del mismo, es decir, convertir el residuo en materia prima. Así sucede en el ciclo biológico y así debería suceder, según los mencionados autores, en el ciclo tecnológico con la reutilización y reciclaje de materiales.

Por otro lado, el problema de la vivienda y la conservación del patrimonio construido pasan a ser asuntos de primera magnitud y que por ello deben ser abordados desde la perspectiva de la sostenibilidad. Así lo defienden autores como Albert Cuchi [10], quien, por otra parte, relaciona además la recuperación del patrimonio cultural en relación con el sistema hídrico tradicional, habida cuenta de que el propio patrimonio edificado puede devolver al suelo nutrientes a partir del ciclo hídrico.

En la misma línea Felipe Pich-Aguilera y Teresa Batlle [11] ponen de manifiesto la deficiencia de la manualidad en la puesta en obra, en relación con los oficios tradicionales sin entramado artesanal y la necesidad de industrialización de los sistemas constructivos, en aras, sobre todo, de una mayor innovación y sostenibilidad.

En el caso de viviendas sociales, asociadas siempre a la consecución de equidad [12], se busca además participación en el proceso constructivo, en la toma de decisiones e incluso en la capacitación técnica, además de en la mejora del entorno y el hábitat con huertas colectivas de participación comunitaria que ayudan a fortalecer a la comunidad con beneficios comunes [13].

En este sentido procede mencionar a arquitectos como el chileno Alejandro Aravena, con su *Quinta Monroy* (2004), su obra más reconocida, o Solano Benítez, éste último discípulo de Eladio Dieste, apuesta

mies oriented towards waste disposal raised in the book *Cradle to cradle: Redesigning the way we do things* [4] undoubtedly imply social, economic and environmental benefits. This implies the need for an interdisciplinary approach in order to make it possible to achieve the well-known and desired planetary sustainability.

The main contribution of McDonough and Braungart in postulating the *Cradle to Cradle* is the transition from Eco-efficiency (waste reduction) to Eco-effectiveness (waste reuse). In this sense, [5] it is possible to improve the rule of the three R's of Ecology (Reduce, Recycle and Reuse) considering the interdependence of the three E's (Ecology, Economy, Equity) [8, 9].

In the field of architecture, the concept of "life cycle" would therefore imply the reuse of the materials used in a building after the useful life of the building, that is, converting the waste into raw material. This is the case in the life cycle and this should happen, according to the aforementioned authors, in the technological cycle with the reuse and recycling of materials.

On the other hand, the problem of housing and the conservation of the built heritage become issues of the first magnitude and must therefore be addressed from the perspective of sustainability. This is defended by authors such as Albert Cuchi [10], who, on the other hand, also relates the recovery of cultural heritage in relation to the traditional water system, given that the built heritage itself can return nutrients to the soil from the water cycle.

In the same vein Felipe Pich-Aguilera and Teresa Batlle [11] highlight the deficiency of craftsmanship in the commissioning in relation to traditional trades without artisanal network and the need for industrialization of construction systems, for the sake, above all, of greater innovation and sustainability.

In the case of social housing, always associated with the achievement of equity [12], participation is also sought in the construction process, in decision-making and even in technical training, as well as in the improvement of the environment and habitat with collective gardens of community participation that help to strengthen the community with common benefits [13].

In this sense it is appropriate to mention architects such as the Chilean Alejandro Aravena, with his *Quinta Monroy* (2004), his most recognized work, or Solano Benítez, the latter disciple of Eladio Dieste, bets on social commitment, respecting the cultural heritage of Paraguay, through an experimentation that aims to respond to social needs from a collective architecture [14].

3. SUSTAINABLE ARCHITECTURE

por el compromiso social, respetando la herencia cultural de Paraguay, mediante una experimentación que pretende dar respuesta a necesidades sociales a partir de una arquitectura colectiva [14].

3. ARQUITECTURA SOSTENIBLE

El principal problema para la consecución de una arquitectura sostenible radica en el control exhaustivo del ciclo de vida de los materiales y todo ello en un tipo de construcción cada vez más tecnológica. El impacto ambiental de un edificio guarda una estrecha relación con los materiales empleados en su construcción, si bien también está asociado al consumo energético del edificio. En ese sentido, materiales como el hormigón, la piedra y el ladrillo, junto con otros naturales como la madera o el bambú, tienen un mínimo impacto si los comparamos con otros materiales como metales y aleaciones.

Otro punto interesante es determinar la optimización de dichos materiales, no tan solo a lo largo de la vida útil del edificio sino además considerando sus posibilidades de reutilización futura para responder a nuevos usos. Los conceptos de optimización y eficiencia parecen entonces ser relativos al depender de una temporalidad funcional, ya que, con la prefabricación e industrialización de los sistemas constructivos se posibilita la reutilización de un material que puede ser desmontado si se aplica un concepto de reversibilidad.

De esta manera, la durabilidad de un edificio pasa a ser un factor clave en la sostenibilidad del mismo, además de determinante en relación con su uso. Este novedoso planteamiento supone apostar por edificios cada vez más efímeros, cuya vida está asociada a su utilidad y re-utilidad funcional.

Por otro lado, el agotamiento de recursos naturales, junto con el impacto ambiental de los edificios, conducen a tener en cuenta la opción mencionada del desmontaje desde el proyecto original, contemplando también la opción del alquiler desde el sector de la construcción industrializada.

La trayectoria que sigue la arquitectura hacia la industrialización parte de la Revolución Industrial, la cual tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XVIII y supuso cambios radicales en la sociedad de la época. Dichos cambios conllevaron que se alzaran voces críticas como la de John Ruskin, el autor de "Siete Lámparas de la Arquitectura" (1849) y "Piedras de Venecia" (1853), o la de artistas como William Morris. En este contexto hay que situar el movimiento Arts and Crafts en Reino Unido y Estados Unidos a mediados del siglo XIX, apostando por las artes y los oficios y rechazando la producción industrial por pérdida de calidad.

Para el caso concreto de la vivienda social, existió una preocupación clara por la misma por parte del

The main problem for the achievement of a sustainable architecture lies in the exhaustive control of the life cycle of the materials and all this in an increasingly technological type of construction. The environmental impact of a building is closely related to the materials used in its construction, although it is also associated with the energy consumption of the building. In that sense, materials such as concrete, stone and brick, along with other natural ones such as wood or bamboo, have a minimal impact if we compare them with other materials such as metals and alloys.

Another interesting point is to determine the optimization of these materials, not only throughout the useful life of the building but also considering their possibilities of future reuse to respond to new uses. The concepts of optimization and efficiency then seem to be relative to depend on a functional temporality, since, with the prefabrication and industrialization of the construction systems, the reuse of a material that can be disassembled is possible if a concept of reversibility is applied.

In this way, the durability of a building becomes a key factor in its sustainability, as well as a determining factor in relation to its use. This novel approach involves betting on increasingly ephemeral buildings, whose life is associated with their usefulness and functional re-utility.

On the other hand, the depletion of natural resources, together with the environmental impact of the buildings, lead to take into account the aforementioned option of disassembly from the original project, also contemplating the option of renting from the industrialized construction sector.

The trajectory that architecture follows towards industrialization is part of the Industrial Revolution, which took place in the second half of the eighteenth century and meant radical changes in society at the time. These changes led to critical voices such as that of John Ruskin, the author of "Seven Lamps of Architecture" (1849) and "Stones of Venice" (1853), or that of artists such as William Morris. In this context we must place the Arts and Crafts movement in the United Kingdom and the United States in the mid-nineteenth century, betting on the arts and crafts and rejecting industrial production for loss of quality.

For the specific case of social housing, there was a clear concern for it on the part of the Modern Movement, from the First International Congress of Modern Architecture (CIAM) held in La Sarraz, Switzerland (1928), to the XI CIAM Congress in Otterlo, The Netherlands (1959) [Fig. 2 and 3]. The origin and *raison d'être* of these congresses was none other than to try to find solutions to the problems generated in the cities by the Industrial Revolution, hence the issues of urban legislation, historical heritage, restoration, environment and regional planning. The

Movimiento Moderno, desde el I Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) celebrado en La Sarraz, Suiza (1928), hasta XI Congreso CIAM de Otterlo, Países Bajos (1959) [Fig. 2 y 3]. El origen y razón de ser de dichos congresos no fue otro que tratar de encontrar soluciones a los problemas generados en las ciudades por la Revolución Industrial, de ahí que se abordaran cuestiones de legislación urbanística, patrimonio histórico, restauración, medio ambiente y ordenación del territorio. El Movimiento Moderno trató, por ello, de conciliar, las ventajas de la industrialización con el respeto a la naturaleza y al medio ambiente, buscando principios básicos de mejora de la calidad de vida³ de las personas.

Así, en la Carta de Atenas del IV CIAM de 1933 se recogían las “perturbaciones” del advenimiento de la era de la máquina, para las cuales había que encontrar soluciones con una actitud crítica y revisionista con mejoras que hoy nos parecen normales: ciudades con zonas residenciales de densidades razonables, nuevas superficies verdes, sectores industriales independizados de las zonas de habitación, clasificación de las vías de circulación, etc. Se sentaban así las bases del urbanismo con las conocidas cuatro funciones: habitar, trabajar, recrearse y circular, buscando la aplicación de unos criterios normativos de orden y equilibrio.

4. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

La eficiencia energética es un planteamiento que persigue hacer un uso racional de la energía, hasta llegar a un consumo energético cero, lo que se consigue con diseños no convencionales y mediante el análisis del ciclo de vida del edificio. En el caso de la arquitectura bioclimática se utilizan exclusivamente elementos arquitectónicos y los sistemas mecánicos



Fig.2.
IV CIAM Congress of Athens,
Greece (1933).

Modern Movement tried, therefore, to reconcile the advantages of industrialization with respect for nature and the environment, seeking basic principles to improve the quality of life³ of people.

Thus, the Athens Charter of the FOURTH CIAM of 1933 included the “disturbances” of the advent of the machine age, for which solutions had to be found with a critical and revisionist attitude with improvements that today seem normal: cities with residential areas of reasonable densities, new green surfaces, industrial sectors independent of the living areas, classification of traffic routes, etc. Thus the foundations of urbanism were laid with the well-known four functions: to inhabit, work, recreate and circulate, seeking the application of normative criteria of order and balance.

4. BIOCLIMATIC ARCHITECTURE

Energy efficiency is an approach that seeks to make a rational use of energy, until reaching a zero energy consumption, which is achieved with unconventional designs and through the analysis of the life cycle of the building. In the case of bioclimatic architecture, architectural elements are used exclusively and mechanical systems become support systems⁴.



Fig.3.
XI CIAM Congress of Otterlo,
The Netherlands (1959).

(3) In relation to rurality, apart from any kind of political ideology, it is also worth mentioning the pragmatism of the Spanish colonisation settlements of the post-war National Colonisation Institute, associated with a socio-economic reform of the land.

pasan a ser sistemas de apoyo⁴.

La adecuación del edificio al clima supone adaptación al entorno, lo cual se traduce en ahorro y eficiencia energética, así como en mejora de la calidad de vida mediante sistemas pasivos de captación, protección, ventilación e inercia térmica. Todo ello partiendo de unas adecuadas estrategias de diseño arquitectónico relativa exclusivamente a elementos constructivos, tales como orientación, sol e iluminación [15], vientos, elección adecuada de materiales o tipología, las cuales dan prioridad al confort higrotérmico verano-invierno, en aras de generar, almacenar o transferir calor o frío, esto último en relación con la trayectoria solar.

En este sentido, es importante valorar estrategias tradicionales de las viviendas vernáculas o de arquitecturas históricas, tales como la islámica en relación con el clima Mediterráneo, que se agrupan para generar sombras, con patios, vegetación y láminas de agua, sobre todo si se comparan con otra anti-arquitectura.

Siguiendo a Rafael Serra [16], existen 5 temas de diseño: ubicación, entorno, forma, piel e interior. Sin duda, el proyecto depende del lugar, pero también de las actuaciones en el entorno para propiciar diferencias térmicas, por ejemplo, con láminas de agua o con vegetación. La existencia de patios permite porosidad y ventilación, y el adosamiento impide ventilar e iluminar, si bien a cambio de proteger. También es importante diferenciar las cualidades de la piel del edificio en relación con la transparencia (iluminación) y la perforación (ventilación), al igual que sus atributos de color, textura y peso. En relación con los sistemas pasivos, en el interior del edificio son determinantes tanto las compartimentaciones como las conexiones.

Retomando el tema que nos ocupa, relativo a la con-

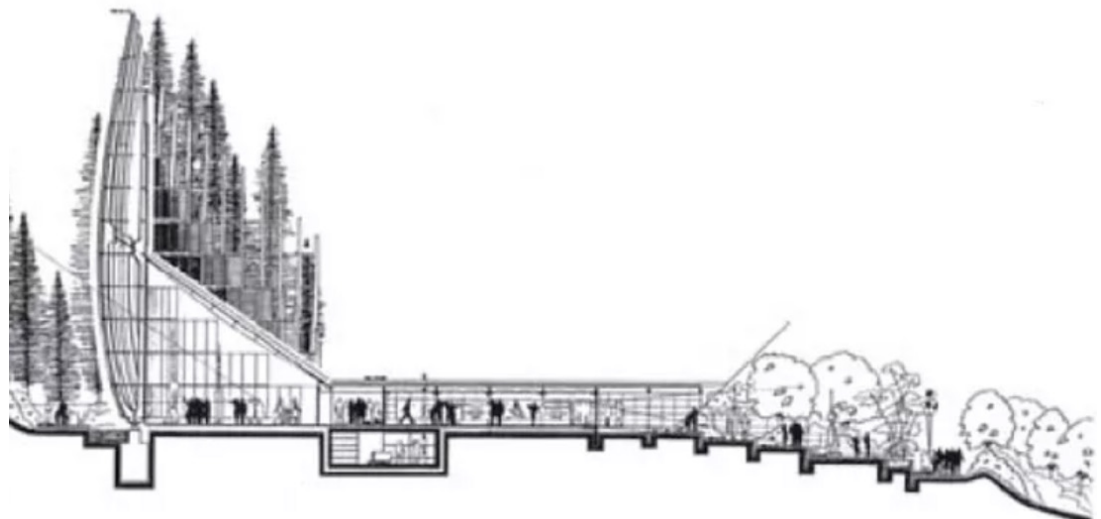
The adaptation of the building to the climate implies adaptation to the environment, which translates into energy saving and efficiency, as well as in improvement of the quality of life through passive systems of capture, protection, ventilation and thermal inertia. All this starting from adequate architectural design strategies relating exclusively to constructive elements, such as orientation, sun and lighting [15], winds, appropriate choice of materials or typology, which give priority to summer-winter hygrothermal comfort, in order to generate, store or transfer heat or cold, the latter in relation to the solar trajectory.

In this sense, it is important to value traditional strategies of vernacular dwellings or historical architectures, such as the Islamic one in relation to the Mediterranean climate, which are grouped together to generate shadows, with patios, vegetation and sheets of water, especially if compared to other anti-architecture.

Following Rafael Serra [16], there are 5 design themes: location, environment, shape, skin and interior. Undoubtedly, the project depends on the place, but also on the actions in the environment to promote thermal differences, for example, with sheets of water or vegetation. The existence of patios allows porosity and ventilation, and the attached prevents ventilation and lighting, although in exchange for protecting. It is also important to differentiate the qualities of the building's skin in relation to transparency (lighting) and perforation (ventilation), as well as its attributes of color, texture and weight. In relation to passive systems, both compartmentalations and connections are decisive inside the building.

Returning to the issue at hand, relating to the achievement of a sustainable architecture, there is a duality, only apparent, between positions that advocate an industrialized architecture versus another that proposes the recovery and use of traditional techni-

Fig.4.
Jean Marie Tjibaou Cultural
Center. Renzo Piano.
Nouméa, 1991-98.



(4) However, home automation involves home automation by means of energy control.

secución de una arquitectura sostenible, se plantea una dualidad, tan sólo aparente, entre posturas que abogan por una arquitectura industrializada frente a otra que propone la recuperación y uso de técnicas tradicionales, una arquitectura vernácula, adaptada a la topografía, al clima [17] y a la idiosincrasia cultural, si bien con frecuencia conviviendo con la primera postura.

Es el caso de arquitectos como Renzo Piano en el Centro Cultural Jean Marie Tjibaou (1991-98) en Nouméa (Nueva Caledonia), en el cual se emplean materiales y técnicas constructivas del Pacífico, como la madera de iroko, si bien el interior tiene un planteamiento tecnológico [Fig.4]. El proyecto adquiere un especial interés por esa hibridación cultural y en un emplazamiento natural singular y de enorme valor ecológico, se respetaba además la sensibilidad de las tradiciones de las culturas indígenas y se buscaba además dar respuesta al clima húmedo de la zona poniendo especial énfasis en la ventilación mediante corrientes ascendentes.

Así, retomando el tema de la ventilación natural, ha sido una constante histórica en los sistemas de ventilación de la arquitectura tradicional y popular [18], mediante estrategias pasivas para renovar el aire interior y siempre con una estrecha relación entre el diseño y las condiciones ambientales.

Se trata de un planteamiento que, sin duda, es desarrollado con la High Technology, que tiene exponentes claves como Norman Foster y obras emblemáticas como su terminal del aeropuerto Stansted⁵ de Londres, caracterizada por recorridos fluidos y un sistema de tránsito automatizado, todo ello abogando por la simplicidad y la comodidad. La luz natural y la ventilación de los lucernarios del gran vestíbulo, sustentados por una estructura desmaterializada, son las dos grandes protagonistas del edificio [Fig.5]. Por otro lado, es también modélica la inserción del edificio en el paisaje. Este edificio es una de las grandes obras de Foster, al responder a necesidades tanto materiales como espirituales y por ello comparable a la Nueva Galería Nacional de Berlín de Mies van der Rohe.

Por otro lado, otra arquitecta que trabaja con la luz natural de manera magistral es Zaha Hadid, con ejemplos como el Centro de Ciencias Phaeno de Wolfsburg, de una extraordinaria plasticidad sensorial [Fig.6].

5. CIUDAD URBÓTICA.

La urbótica se ocupa de la gestión urbana, el control y el diseño inteligente, a partir de ciudades virtuales superpuestas a las ciudades físicas, asociado todo ello a un laboratorio de innovaciones o Living-Lab urbano que persigue la automatización de servicios urbanos tales como gestión energética, seguridad, tráfico rodado o comunicación [19]. Otros ámbitos

ques, a vernacular architecture, adapted to the topography, the climate [17] and the cultural idiosyncrasy, although often coexisting with the first position.

This is the case of architects such as Renzo Piano at the Jean Marie Tjibaou Cultural Centre (1991-98) in Nouméa (New Caledonia), in which materials and construction techniques from the Pacific, such as iroko wood, are used, although the interior has a technological approach [Fig.4]. The project acquires a special interest in this cultural hybridization and in a unique natural location of enormous ecological value it also respected the sensitivity of the traditions of indigenous cultures and also sought to respond to the humid climate of the area with special emphasis on ventilation by updrafts.

Thus, returning to the theme of natural ventilation, it has been a historical constant in the ventilation systems of traditional and popular architecture [18], through passive strategies to renew the indoor air and always with a close relationship between design and environmental conditions.

It is an approach that is undoubtedly developed with High Technology, which has key exponents such as Norman Foster and emblematic works such as its terminal at Stansted Airport in London⁵, characterized by smooth routes and an automated transit system, all advocating simplicity and comfort. The natural light and ventilation of the skylights of the great vestibule, supported by a dematerialized structure, are the two main protagonists of the building [Fig.5]. On the other hand, it is also exemplary the insertion of the building in the landscape. This building is one of Foster's great works, responding to both material and spiritual needs and therefore comparable to Mies van der Rohe's New National Gallery in Berlin.



Fig.5. Stansted Airport. Norman Foster. London, 1981-91. (Photo by the author).

Fig.6.
Phaeno Science Center. Zaha Hadid. Wolfsburg, Germany, 1999-2005. (Photo by the author).



de aplicación serían la atención de emergencias sanitarias, el control de la contaminación ambiental o la optimización de la movilidad y la vigilancia [20].

El primer ejemplo de automatismo en la gestión urbana del tráfico es el semáforo. Sin embargo, la red urbótica coordina un sistema integrado de información con servicios capaces de dar respuesta a inconvenientes impredecibles, como los sistemas IPS (Intelligent Parking System) [21]. Por otro lado, la inteligencia computacional permite además el aprendizaje autónomo de los microsistemas de la red urbótica, si bien la integración en un único macrosistema, resulta más complicada desde un punto de vista político.

Jeremy Rifkin, en su libro *La tercera Revolución industrial* [22] habla de la actual era poscarbónica y justifica el cambio climático asociado a la actividad industrial con combustibles fósiles. Plantea por ello la democratización de la energía con la sustitución de energías fósiles por energías verdes o renovables, con el empleo de hidrógeno para almacenamiento energético por el flujo intermitente de las renovables. Este autor se refiere también a edificios con producción de energía propia solar y eólica, con microcentrales eléctricas in situ y una red de energía compartida, con una transición hacia vehículos de motor eléctrico.

En la misma línea de automatización e interacción entre usuarios, se incluyen los jardines verticales, las cubiertas ajardinadas y los huertos tecnificados, buscando optimizar la eficiencia energética y el respeto al medio ambiente [23].

Por otro lado, en el ámbito de la construcción, la Industria 4.0 o cuarta Revolución industrial está asociada a automatización y robótica avanzada en la

On the other hand, another architect who works with natural light in a masterful way is Zaha Hadid, with examples such as the Phaeno Science Center in Wolfsburg, of an extraordinary sensory plasticity [Fig.6].

6. URBOTIC CITY.

Urbotics deals with urban management, control and intelligent design, from virtual cities superimposed on physical cities, all associated with an innovation laboratory or urban Living-Lab that pursues the automation of urban services such as energy management, security, road traffic or communication [19]. Other areas of application would be the attention of health emergencies, the control of environmental pollution or the optimization of mobility and surveillance [20].

The first example of automatism in urban traffic management is the traffic light. However, the urbotic network coordinates an integrated information system with services capable of responding to unpredictable problems, such as IPS (Intelligent Parking System) systems [21]. On the other hand, computational intelligence also allows the autonomous learning of the microsistemas of the urbotic network, although the integration into a single macrosystem is more complicated from a political point of view.

Jeremy Rifkin, in his book *The Third Industrial Revolution* [22] talks about the current post-carbon era and justifies the climate change associated with industrial activity with fossil fuels. It therefore proposes the democratization of energy with the replacement of fossil energies by green or renewable energies, with the use of hydrogen for energy storage by the intermittent flow of renewables. This author also refers to buildings with their own solar and wind energy production, with on-site power plants and a shared energy network, with a transition to electric motor vehicles.

In the same line of automation and interaction between users, vertical gardens, landscaped roofs and technified orchards are included, seeking to optimize energy efficiency and respect for the environment [23]. On the other hand, in the field of construction, Industry 4.0 or fourth Industrial Revolution is associated with automation and advanced robotics in construction, which entails digital manufacturing processes and 3D Printing [24], but also addressing other issues such as cybersecurity or connectivity, that is, it involves a profound transformation of the means of production.

All this in an unstoppable process of digitization, interconnectivity, interoperability, standardization and globalization, with the use of cloud computing, big data and project management, as well as new resources of the Internet of Things (IoT) [25] or connection of everyday objects to the Internet; the latter is

construcción, lo cual conlleva procesos de fabricación digital e Impresión 3D [24], pero también abordar otras cuestiones como ciberseguridad o conectividad, es decir, supone una transformación profunda de los medios de producción.

Todo ello en un proceso imparable de digitalización, interconectividad, interoperabilidad, estandarización y globalización, con la utilización de cloud computing, big data y gestión de proyectos, así como nuevos recursos de la internet de las cosas (IoT) [25] o conexión de objetos cotidianos a internet; éste último se trata de un término acuñado por Kevin Ashton y basado en la idea de ubicuidad que posibilita un seguimiento en tiempo real [26] y con una mínima intervención humana [27].

Este nuevo tipo de construcción altamente digitalizada está basado en el diseño generativo y la optimización paramétrica y supone además automatización de procesos. Se emplea modelado BIM y simulación mediante realidad virtual (VR) o realidad mixta (MR).

En relación con la ciudad urbótica, algunos ámbitos de aplicación del internet de las cosas (IoT) serían infraestructuras (alumbrado público o tráfico rodado), seguridad (video vigilancia y prevención de accidentes) o

Interacción informativa con la población. Por otro lado, todo ello asociado además a dar respuesta a la problemática ambiental de la sostenibilidad mediante el control de la contaminación o el ciclo hídrico.

7. CONCLUSIONES

La arquitectura actual requiere un enfoque interdisciplinar al contemplar, bajo el prisma de la sostenibilidad o ecoeficiencia, aspectos económicos, ecológicos y éticos. El ciclo de vida de un edificio implica siempre impacto ambiental, además de residuos y desechos tóxicos. Se busca por ello la consecución de la minimización de dicho impacto ambiental, junto a la mejora de la calidad de vida, especialmente en relación con la calidad social de las viviendas, en base sobre todo a su planificación y diseño.

El desarrollo tecnológico y la investigación científica deben apostar por una toma de decisiones responsable, en base a un imperativo ético en el cual se fundamenten el diseño y la planificación de una arquitectura sostenible, sin efectos colaterales, ni consecuencias imprevisibles. Solo así podremos aspirar a mejorar la calidad de vida y el bienestar de la población: resolviendo los problemas de vivienda, recuperando y conservando el patrimonio construido, reduciendo la vulnerabilidad de los asentamientos más pobres, rehabilitando los espacios urbanos, reduciendo la huella ecológica y los recursos y aplicando una mayor racionalidad energética. Todo ello

a term coined by Kevin Ashton and based on the idea of ubiquity that enables real-time monitoring [26] and with minimal human intervention [27]. This new type of highly digitized construction is based on generative design and parametric optimization and also involves process automation. BIM modeling and simulation using virtual reality (VR) or mixed reality (MR) is used.

In relation to the urban city, some areas of application of the Internet of Things (IoT) would be infrastructure (public lighting or road traffic), security (video surveillance and accident prevention) or

Information interaction with the population. On the other hand, all this is also associated with responding to the environmental problem of sustainability through the control of pollution or the water cycle.

7. CONCLUSIONS.

Today's architecture requires an interdisciplinary approach when contemplating, under the prism of sustainability or eco-efficiency, economic, ecological and ethical aspects. The life cycle of a building always involves environmental impact, in addition to waste and toxic waste. It seeks to achieve the minimization of this environmental impact, along with the improvement of the quality of life, especially in relation to the social quality of housing, based above all on its planning and design.

Technological development and scientific research must bet on responsible decision-making, based on an ethical imperative on which the design and planning of a sustainable architecture are based, without side effects or unforeseeable consequences. Only in this way can we aspire to improve the quality of life and well-being of the population: solving housing problems, recovering and conserving the built heritage, reducing the vulnerability of the poorest settlements, rehabilitating urban spaces, reducing the ecological footprint and resources and applying greater energy rationality. All this considering with a new consideration of the waste as raw material. The main conclusion is that this new ecological approach to architectural production is also compatible with other concepts such as Bioarchitecture and its wide range of possibilities, such as bioluminescence or bamboo construction, but also the Internet of Things (IOT), 3D printing or robotics. Architects such as Shigeru Ban or Simon Vélez adopt alternative forms that open new paths for architecture much more respectful of nature and landscape.

considerando con una nueva consideración del residuo como materia prima.

La principal conclusión es que este nuevo enfoque ecológico de la producción arquitectónica es compatible además con otros conceptos como la Bioarquitectura y su amplio abanico de posibilidades, como la bioluminiscencia o la construcción de bambú, pero también a la Internet de las Cosas (IoT), la impresión 3D o la robótica. Arquitectos como Shigeru Ban o Simon Vélez adoptan formas alternativas que abren nuevos caminos para la arquitectura mucho más respetuosos con la naturaleza y el paisaje.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] Carson, R. L. *Silent Spring*. Harcourt, Houghton Mifflin, New York, 1962.
- [2] Meadows, D. H. *The Limits to growth*. Universe Books, New York, 1972. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63768-0.00630-2>
- [3] Meadows, D. *Leverage Points: Places to Intervene in a System*. The Sustainability Institute, Hartland, 1999.
- [4] McDonough, W., & Braungart, M. *De la cuna a la cuna: rediseñando la forma en que hacemos las cosas*. McGraw-Hill/Interamericana, Madrid, 2005.
- [5] Cradle to Cradle Certified. (n.d.). Retrieved March 21, 2021, from <https://www.c2ccertified.org/>
- [6] Moro, T. Utopía. *Textos.info*, N.543, (2016) <https://www.textos.info/tomas-moro/utopia>
- [7] Fourier, C. *El C*. Ediciones Godot, Buenos Aires, 2008
- [8] Gudynas, E. *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible*. In *Ambiente & Sociedade* (Vol. 6, Issue 2). Coscoroba, 2004. <https://doi.org/10.1590/s1414-753x2003000300011>
- [9] Georgescu-Roegen, N. *¿Qué es la Economía Ecológica?* *Ecologistas en Acción*, Madrid, 2017.
- [10] Cuchi, A. *La qualitat ambiental als edificis*. In *Generalitat de Catalunya*. Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Barcelona, 2009.
- [11] Pich-Aguilera, F., & Batlle, T. *Arquitectura ambiental en España hoy*. *Práctica Urbanística: Revista Mensual de Urbanismo*, 145 (2017).
- [12] Acosta, D. *Arquitectura y Construcción Sostenibles*. *Uniandes*, 4 (2009), 14-23. <https://doi.org/https://doi.org/10.18389/dearq4.2009.02>
- [13] Villalobos-González, E. M. *La construcción social en la práctica de la arquitectura. Una revisión crítica*. *Contexto*, 14 (2020), 99-113. <https://doi.org/10.29105/contexto14.20-8>
- [14] Abramovay, R. *Más allá de la economía verde*. Temas Grupo Editorial, Buenos Aires, 2013.
- [15] Rasmussen, S. E. *Experiencia de la arquitectura*. Jorge Sáinz (ed.), Reverté, Barcelona, 2012.
- [16] Jarauta Marión, F. (coord.) *Arquitectura y sostenibilidad: Primeras Jornadas noviembre 2005*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valencia, 2006.
- [17] Garzón, B. *Arquitectura bioclimática*. Nobuko, Buenos Aires, 2020
- [18] Araujo, R. *La arquitectura y el aire: ventilación natural*. *Tectonica* 35 (2014), 5-19
- [19] Valero Martínez, M. et al. *Desarrollo urbano del semáforo inteligente. Primeras experiencias en un living-lab urbano*. *Revista de Biomecánica*, 53 (2010), 29-30.
- [20] Rivera, S., & Sosa, L. *Aportaciones a la caminabilidad desde la urbana*. *Seminario Internacional de Investigación en Diseño*, 11 (2020), 305-311.
- [21] Barberis, W. *Ciudad urbana contemporánea: y nuevas tecnologías en el espacio y los servicios urbanos*. *Architecture, City and Environment*, 17 (2011), 95-108. <https://doi.org/10.5821/ace.v6i17.2530>
- [22] Sandoval-Ruiz, C. E. *Diseño Arquitectónico Inteligente Aplicando Conceptos de Urbótica y Sostenibilidad*. *REC Perspectiva*, 11 (2017), 18-29.
- [23] Rifkin, J. *La tercera revolución industrial: cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo*. Paidós, Barcelona, 2011.
- [24] López Parada, J. *Fabricación aditiva y transformación logística: la impresión 3D*. *Oikonomics*, 9, (2019), 58-69. <https://doi.org/10.7238/o.n9.1805>
- [25] Salazar, J., & Silvestre, S. *Internet de las cosas (IoT)*. TechPedia, Praha, 2017.
- [26] Barrio, M. *Internet de las Cosas*. Reus, Madrid, 2018.
- [27] Rose, K. *La internet de las cosas. Una breve reseña*. *Internet Society (ISOC)*, 2015. https://doi.org/10.1007/978-0-85729-103-5_5

The challenge of promoting eco-efficient housing. The case of Kosta Zabala building in Bilbao

El reto de promocionar Vivienda ecoeficiente. El caso del edificio Kosta Zabala en Bilbao

José Manuel Baraibar¹

ABSTRACT

In recent years, the average annual number of new housing units in a community like the Basque Country accounts for 40% of the new housing units before the 2008 global crisis. In this context, which adds to the distortion caused by the COVID19 pandemic, it is a genuine challenge to attract the market and offer the maximum value to the future homeowners.

In addition to traditional parameters connected to buying decisions in real estate markets (location, surface, price, proximity to public services,), a culture shift is taking place in our society, as the consideration of sustainable criteria in the buying of everyone's own home is becoming more and more common.

The housing promotion of Kosta Zabala, in Mauricio Zabala street, Bilbao, has pioneered the obtention of the HQE certificate for a sustainable building in Spain. This project has been built by VIUDA DE SAINZ, S.A. The objective of this certification is to support its global performance. The HQE certification is a comprehensive, multi-criteria approach. It puts energy efficiency, respect for the environment, health and confort of occupiers first. It strives to improve the build environment, by assessing the building's impact on the surrounding environment and on the users' health and confort, and taking suitable measures to reduce the building impact. It also supports UN sustainable development goals.

Some of the sustainable measures that have been proposed in the project have been the use of structural elements and façades with certified materials with a EPD (Environmental Product Declaration).

Besides, the project has replaced thermal solar energy with aerothermal energy, which is also a renewal energy taking advantage of the outside temperature, very appropriate in Bilbao, giving also more performance in this climatic zone. An A energy rating has also been obtained for the whole building. Sustainable transport has also been considered in the project, as the building has a bicycle parking in the ground floor. In addition, all the parking places have recharge point for electric cars.

On another front, during the construction phase, we have been participating, together with IHOBE (the public society of environmental management of the Basque Government), in a pilot project in order to asses the circularity of gypsum boards in the construction of new buildings.

Finally, in this Project another new pilot experience has been built, in order to digitize the sector and promote collaborative work among stakeholders. In the Kosta Zabala building construction, a Last Planner System (LPS) methodology has been implemented, supplementing it with BIM tools. Although these methodologies do not fully resolve all the issues during the execution of the building project, they help solve most of them.

Key Words: eco-efficient housing, LPS methodology, BIM tools

(1) VIUDA DE SAINZ, S.A. Pol. El Campillo, nº19, 48500 Abanto Zierbena (Bizkaia)

1. INTRODUCCIÓN

En nuestro entorno, tradicionalmente el proceso a la hora de decidir la compra de una vivienda suele ser el mismo. En primer lugar, se filtran las opciones según tres factores: el precio, la superficie y la localización. En segundo lugar, el potencial comprador visita un conjunto de viviendas que se adaptan a estas características prefijadas y finalmente se produce la decisión de compra [1].

Las características de las viviendas demandadas van evolucionando a medida que lo hace la sociedad. La pandemia mundial de COVID19 ha repositionado la importancia de la vivienda en la vida diaria, influenciando sin duda de forma muy determinante las preferencias de los compradores. La cuarentena y el aislamiento de la gente en sus casas ha cambiado de forma muy significativa la dinámica habitacional [2]. En el corto plazo ya nadie duda de que la vivienda tras la pandemia debe reformularse, considerando aspectos como la salubridad que garantice un hogar seguro (buena iluminación, buena calidad de aire interior, zonas comunes con materiales antibacterianos, uso de materiales sostenibles...), la versatilidad que garantice un hogar preparado para conciliar la vida personal y laboral (espacio para el teletrabajo, distribución versátil...), y el confort, que permita materializar la experiencia de vida de compartir el hogar con la familia (climatización eficiente, ubicación adecuada, correctos aislamientos, conectividad, zonas comunes...) [3].

Sin embargo, no es fácil prever cuáles de estas características permanecerán cuando finalice la pandemia en un escenario a medio plazo. En todo caso, independientemente de la distorsión que ha generado, existe una tendencia clara desde hace años hacia la construcción de edificios resilientes, eficientes y con bajas emisiones. Prácticamente el 30% de las emisiones mundiales de CO2 provienen de la construcción y el uso de los edificios [4]. Por eso es esencial desplegar estrategias para reducir la demanda de energía desde el parque edificatorio, a la vez que se descarboniza el sector energético. A pesar de que la sociedad cada vez es más consciente de esta circunstancia, de que la mayor parte de los países tienen políticas para controlar la eficiencia energética de los edificios (mediante planes de acción y el despliegue o adaptación de nuevos códigos y normativas de obligado cumplimiento) y de que se invierte cada vez más en este aspecto, todavía esta inversión representa una proporción escasa de la inversión total en el sector. [5].

La importancia de los edificios sostenibles es creciente, incluso desde el punto de vista económico. Estos representan unas de las mayores oportunidades de inversión global, identificada por IFC (International Finance Corporation). [5].

En la presente comunicación se describen diversas

1. INTRODUCTION

In our context, the decision-making process with respect to the buying of a property is usually the same. In the first place, options are filtered considering three factors: price, size and location. Secondly, the potential buyer visits a group of houses with these pre-set characteristics and finally the buying decision is taken [1].

The characteristics of the demanded housing evolve as life and society changes. The global COVID19 pandemic has repositioned the importance of housing in everyday life, impacting undoubtedly in a decisive way the preference of buyers. Quarantine and people isolation at home have significantly changed housing dynamics [2]. In the short term, there is no doubt that post pandemic housing has to be reworded, regarding several aspects such as health conditions guaranteeing a safe home (good lightning, good indoor air quality, common areas with antibacterial materials, use of sustainable materials...), the versatility ensuring a prepared home for better harmonisation of private, family and professional lives, (teleworking space, versatile distribution...), and comfort, enabling the life experience of home sharing with the family (efficient cooling systems, appropriate location, correct thermal insulation, connectivity, common areas...) [3].

However, it is not easy to forecast which of these characteristics will remain as the pandemic finishes in a medium-term scenario. In any case, regardless of the distortion that the pandemic has caused, there is a clear tendency for several years towards the construction of resilient, efficient and low carbon emission buildings. Up to 30% of global CO2 emissions come from construction and operation of buildings [4]. It is essential, therefore, to deploy strategies for reducing energy demand from the building sector, and at the same time decarbonising the energetic sector. In spite of the fact that our society is increasingly conscious of these circumstances, and that most of the countries have policies for controlling energy efficiency in buildings (by means of programmes of action and the deployment of mandatory regulations) and that more resources are invested in this aspect, this investment represents still a low proportion within the total investment in the sector [5].

The importance of sustainable buildings is rising, even from an economic point of view. These represent one of the better global investment opportunities, identified by IFC (International Finance Corporation) [5].

In this article several differentiation strategies in the promotion of an unsubsidised housing building in Zabala Street, in Bilbao, are described, including the adoption of a sustainability certificate, and works execution considering the implementation of collaborative tools, such as BIM (Building Information

estrategias de diferenciación en la promoción de un edificio de viviendas libres en la calle Zabala de Bilbao, entre las que destaca la adopción de un certificado de sostenibilidad y una ejecución de obra que ha contemplado la implementación de herramientas colaborativas, como el empleo de la metodología BIM (Building Information Modelling) y la metodología LPS (Last Planner System).

2. ANÁLISIS DEL MERCADO DE VIVIENDA ACTUAL EN EL PAÍS VASCO

Tras la fuerte corrección en los precios de la vivienda que se produjo en la crisis de 2008, estos se han contenido y existe una demanda sostenida de nuevos proyectos. En los últimos años, el número medio de proyectos que se inician anualmente en una comunidad como el País Vasco constituye del orden del 40% de los proyectos anuales que iniciaban antes de esta crisis [6].

En 2019, antes de la irrupción de la pandemia mundial de COVID19, el sector inmobiliario residencial estaba aprovechando un viento favorable, con un panorama compuesto por agentes invirtiendo en innovación, calidad e industrialización [3]. Durante el 2020, el mercado vivió una época de gran incertidumbre, de forma análoga a la mayoría de los sectores [7]. En este año, en el País Vasco se inició la producción de 4.793 viviendas nuevas, un 24% menos que en el ejercicio anterior (Fig.1). Esta evolución negativa redundó en la baja producción de vivienda nueva que se revela como estructural durante la última década, con tasas de producción de apenas dos viviendas por cada mil habitantes, y que no consigue atender la demanda existente de vivienda nueva, libre y protegida, de la sociedad [6].

A mediados de 2021, cuando parecía que la pandemia podía controlarse, el sector de la edificación comienza a retomar su pulso, generando buenas expectativas de crecimiento. Los índices de dinamismo del mercado, así como los índices de previsión de ventas y precios se están recuperando con fuerza [8]. Existen además diversos factores que refuerzan este escenario optimista a partir de 2021, que pueden ayudar a que el mercado inmobiliario constituya uno de los ejes de recuperación económica: el alza en el mercado de alquiler, el refuerzo y la potenciación de la rehabilitación de vivienda, los cambios en la estructura de demanda de las viviendas y el acce-

Modelling) and LPS (Last Planner System).

2. ANALYSIS OF HOUSING MARKET IN THE BASQUE COUNTRY

After the pronounced correction in housing prices that took place in the global 2008 crisis, these have been stabilised and there is a sustained global demand for new projects. In recent years, the average number of launched projects in a community like the Basque Country represents about 40% of the annual projects launched before this crisis [6].

In 2019, before the irruption of COVID19 global pandemic, the residential housing sector was taking advantage of a fair wind, with a landscape made of several agents investing in innovation, quality and industrialization [3]. During 2020, this market lived a period of great uncertainty, along with the other sectors of the economy [7]. This year, in the Basque Country the production of 4.793 housing projects was launched, 24% less compared with the previous year (Fig. 1). This negative trend led to a low production of new housing which is revealed as a structural problem during the last decade, with production rates of barely two housings for every 1.000 inhabitants, not being able to cover the existing demand for new free and subsidised housing [6].

In mid-2021, when it seemed that the pandemic could be brought under control, the building sector is starting to pick up again, generating good growth expectations. Market dynamism indices, as well as sales and price forecast indices are recovering strongly [8]. There are also several factors that reinforce this optimistic scenario from 2021 onwards, which may help the real estate market to become one of the mainstays of economic recovery: the rise in the rental market, the strengthening and promotion of housing renovation, changes in the structure of housing demand and access to credit [8].

3. DIFFERENTIATION STRATEGIES IN KOSTA ZABALA PROMOTION IN BILBAO

3.1 DESCRIPTION OF THE PROMOTION

Kosta Zabala is a free housing development at numbers 10 and 12 of Bruno Mauricio Zabala Street, in Bilbao (Bizkaia), built between 2019 and 2021 by

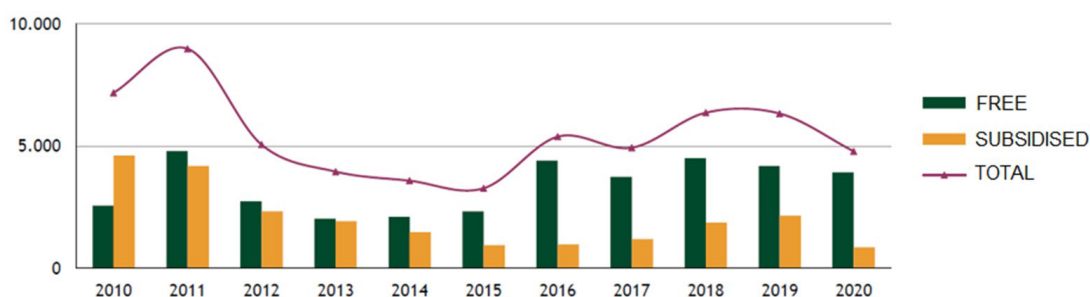


Fig.1. Evolution of the number of launched housing projects in the Basque Country [6]

so al crédito [8].

3. ESTRATEGIAS DE DIFERENCIACIÓN EN LA PROMOCIÓN KOSTA ZABALA EN BILBAO

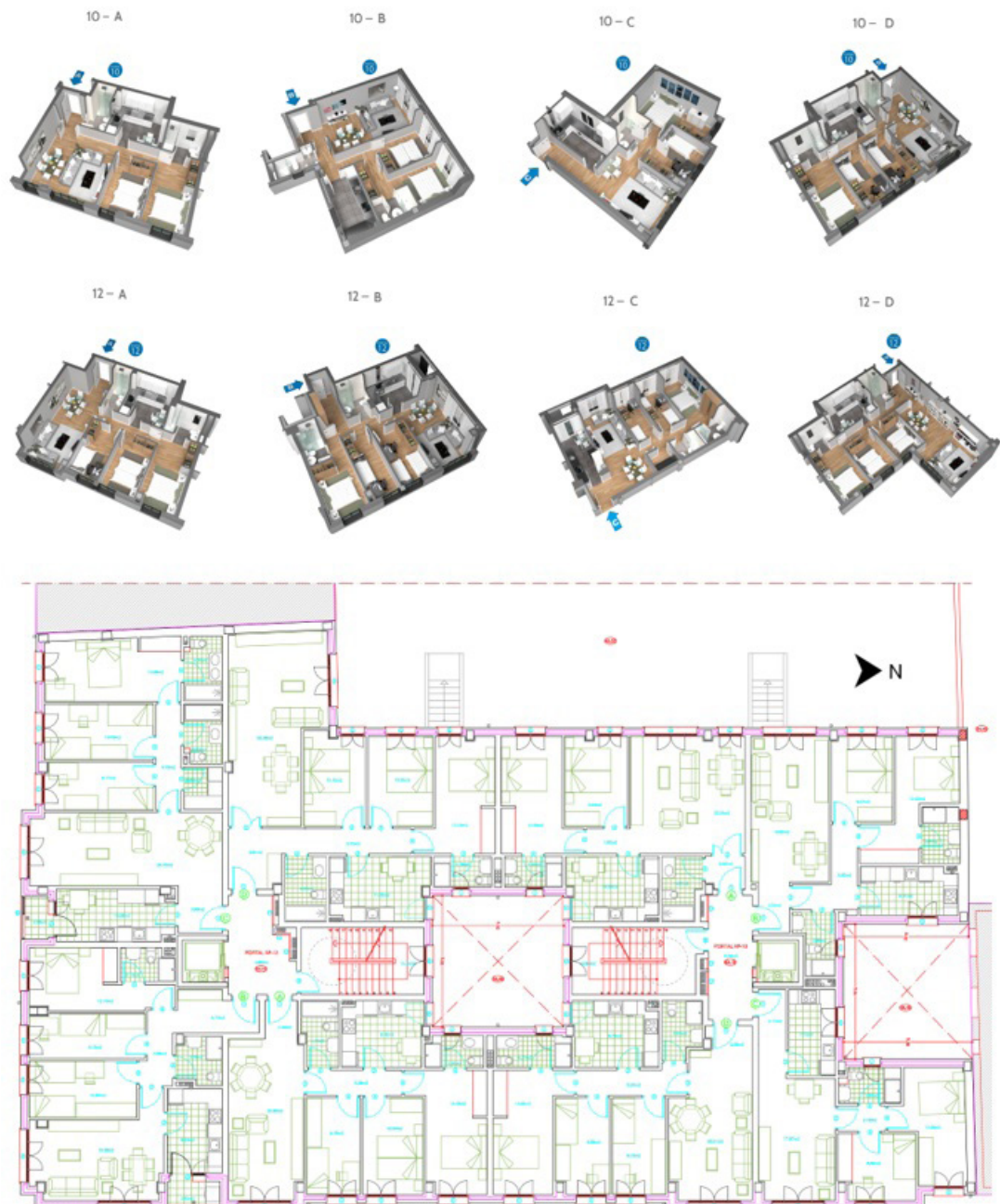
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROMOCIÓN

Kosta Zabala es una promoción de vivienda libre desarrollada por Viuda de Sainz en los números 10 y 12 de la calle Bruno Mauricio Zabala, en Bilbao (Bizkaia), construida entre los años 2019 y 2021. Se sitúa en un entorno urbano con un gran potencial de desarrollo urbanístico, junto a la futura estación de Alta Velocidad de Abando, espacio de regeneración que se soportará y se ganará para el disfrute de la ciudad y sus vecinos. Consta de 46 viviendas con garaje y trastero,

Viuda de Sainz. It is located in an urban environment with a great potential for urban development, next to the future Abando high-speed train station, a regeneration space that will go underground and will be gained for the enjoyment of the city and its neighbours. It consists of 46 dwellings with garage and storage room, with 8 possible distribution typologies, with options of 2 and 3 bedrooms (Fig. 2).

The structure of the building is made of reinforced concrete, and its facades are ventilated, with ceramic tile, air chamber, thermal insulation and interior masonry enclosure. The thermal and acoustic insulation is in accordance with the CTE - Technical Building Code. The exterior carpentry has been designed in reinforced PVC and the blinds are made of injected aluminium slats. The Kosta Zabala development is the first in the area with an individual electric car

Fig.2.
Possible distributions of housing in the Kosta Zabala development in Bilbao



con 8 tipologías posibles de distribución, con opciones de 2 y 3 dormitorios (Fig. 2).

La estructura del edificio es de hormigón armado, y sus fachadas son trasventiladas, con placa cerámica, cámara de aire, aislamiento térmico y cerramiento de fábrica interior. El aislamiento térmico y acústico se realiza según el CTE – Código Técnico de la Edificación. La carpintería exterior se ha diseñado en PVC reforzado y las persianas son de lama de aluminio inyectado. La promoción de Kosta Zabala se precia de ser la primera en la zona con cargador individual para coche eléctrico en cada parcela de garaje, y la primera promoción de viviendas en el País Vasco con la certificación de sostenibilidad HQE (ver apartado 3.2). El proyecto ha sido redactado por ArrutiArk – arktektura eta hirigintza bulegoa (Fig. 3).

3.2 EMPLEO DE CERTIFICACIÓN DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

La construcción sostenible, en las fases de diseño, construcción y mantenimiento, busca reducir o eliminar los efectos negativos e incluso generar impactos positivos en el clima y el medio ambiente, preservando los recursos disponibles y mejorando a la vez la vida de los ocupantes de las viviendas. La respuesta a la pregunta de qué es exactamente una construcción sostenible no es fácil, por lo que desde hace 30 años se han creado diversas certificaciones de construcción sostenible, cuyo objetivo es verificar los aspectos sostenibles de cualquier construcción. Existen múltiples certificaciones en materia de edificación sostenible en el mundo, siendo las principales LEED, BREEAM, VERDE y DGNB. Estos estándares son voluntarios y están estructurados en diferentes ámbitos de actuación, relacionados con los mayores impactos que los edificios generan. Incluyen parámetros para contemplar la mejora de su comportamiento energético, y también el impacto en las dimensiones económica, social y ambiental.

Los certificados energéticos de un edificio o de sus prestaciones relacionadas con la sostenibilidad subrayan los esfuerzos durante su construcción y proporcionan al mercado información de interés para todos los intervinientes: propietarios, reguladores y consumidores. Este tipo de certificados otorgan una evidente diferenciación en el mercado, resaltando la

charger in each garage plot, and the first housing development in the Basque Country with HQE sustainability certification (see section 3.2). The project was drawn up by ArrutiArk - arktektura eta hirigintza bulegoa (Fig. 3).

3.2 USE OF SUSTAINABLE BUILDING CERTIFICATION

Sustainable construction, in the design, construction and maintenance phases, seeks to reduce or eliminate negative effects and even generate positive impacts on the climate and the environment, preserving available resources while improving the lives of the occupants of the dwellings. The answer to the question of what exactly is a sustainable building is not easy, which is why for the last 30 years various sustainable building certifications have been created, whose objective is to verify the sustainable aspects of any construction. There are multiple sustainable building certifications around the world. The main certifications are LEED, BREEAM, VERDE and DGNB. These standards are voluntary and are structured in different areas of action, related to the major impacts that buildings generate. They include parameters to consider the improvement of their energy performance, as well as the impact on the economic, social and environmental dimensions.

Energy certificates for a building or its sustainability-related performance underline the efforts made during its construction and provide the market with information of interest to all stakeholders: owners, regulators and consumers. Such certificates provide a clear differentiation in the market, highlighting the importance of commitment to sustainability principles in the construction and maintenance of buildings. The number of buildings constructed under this type of certification has been growing steadily in recent years [5].

There are many reasons why developers may choose to adopt sustainable strategies in their investments. Recent studies show that the adoption of sustainability certification in buildings indirectly boosts the sales rate, while limiting risks and long-term operational costs [9].

In the case of the Kosta Zabala promotion, we op-



Fig.3.
Exterior view of the Kosta Zabala promotion in Bilbao.

importancia del compromiso hacia los principios de sostenibilidad en la construcción y mantenimiento de los edificios. El número de edificios construidos bajo este tipo de certificaciones no ha dejado de crecer en los últimos años [5].

Son muchas las razones por las que los promotores pueden decantarse por adoptar estrategias sostenibles en sus inversiones. Recientes estudios demuestran que la adopción de certificados de sostenibilidad en edificios favorece indirectamente la tasa de ventas, limitando además los riesgos y los costes operacionales a largo plazo [9].

En el caso de la promoción Kosta Zabala, se ha optado por la obtención de la certificación sostenible HQE (Haute Qualité Environnementale - Alta Calidad Medioambiental). Esta certificación, de origen francés y cuyo único prescriptor en España es Tecnalia (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico referente en Europa), se establece como solución para que se reconozca la naturaleza de alta calidad de un proyecto sostenible de forma objetiva. Comenzó hace 20 años promoviendo el uso de un entorno de vida sostenible. Es una certificación flexible, que tiene en cuenta los aspectos humanos, y presenta las siguientes características:

- Requisitos HQE para la construcción con un 50% de los requisitos exigidos en temas de confort y salud
- Metodología para la mejora continua. Proceso para gestión de proyectos exhaustivo
- Normas genéricas adaptables a todos los entornos, tanto climáticos como prácticas locales
- Mayor credibilidad por la presencia sistemática de un auditor independiente. Transparencia e imparcialidad
- Solicitud de los principios de equivalencia para otras especificaciones
- Valoración de proyectos certificados en cada fase

Algunas de las medidas sostenibles que se han propuesto en el proyecto son la utilización de elementos estructurales y de fachadas con materiales certificados con una Declaración Ambiental de Producto (DAP). Se ha primado en la elección de los materiales en obra que cumplan requisitos con calidades técnicas, ambientales y sanitarias. Además, el proyecto sustituye la energía solar térmica por la aerotermia, fuente también de energía renovable que aprovecha la temperatura exterior, que en Bilbao es muy adecuada, y da mejor rendimiento en esta zona climática. Así mismo, se ha obtenido una calificación energética A para el bloque de viviendas. El transporte sostenible también está contemplado en el proyecto, por lo que la promoción está dotada con un aparcamiento de bicicletas en planta baja y

ted for obtaining the HQE (Haute Qualité Environnementale - High Environmental Quality) sustainable certification. This certification, of French origin and whose only prescriber in Spain is Tecnalia (Europe's leading Research and Technological Development Centre), has been established as a solution to recognise the high quality nature of a sustainable project in an objective manner. It started 20 years ago promoting the use of a sustainable living environment. It is a flexible certification, which takes into account human aspects, and has the following characteristics:

- HQE requirements for construction with 50% of the requirements for comfort and health.
- Methodology for continuous improvement. Comprehensive project management process
- Generic standards adaptable to all environments, both climatic and local practices.
- Increased credibility due to the systematic presence of an independent auditor. Transparency and impartiality
- Application of the equivalence principles for other specifications.
- Assessment of certified projects at each stage

Some of the sustainable measures proposed in the project are the use of structural and façade elements with materials certified with an Environmental Product Declaration (EPD). Priority has been given to the choice of on-site materials that meet technical, environmental and health requirements. In addition, the project replaces solar thermal energy with aerothermal energy, also a source of renewable energy that takes advantage of the outside temperature, which in Bilbao is very suitable, and gives better performance in this climate zone. Likewise, an A energy rating has been obtained for the block of flats. Sustainable transport is also included in the project, which is why the development is equipped with a bicycle parking area on the ground floor and all the parking spaces will be equipped with electric vehicle charging points. The certification scheme is based on 14 objectives grouped under 4 themes: Energy, Environment, Health and Comfort (Fig. 4).

The HQE certificate for the design phase was awarded on 13 March 2020. Within this conceptual framework, the construction site of the Kosta Zabala development also constituted a pilot project to evaluate the possibilities of circularity of gypsum (Fig. 5), for which a particularly careful management of this material has been carried out, with containers for the exclusive management of this material. This pilot project has been developed in collaboration with Placo Saint Gobain and Ihobe, the Basque Government's public environmental management com-

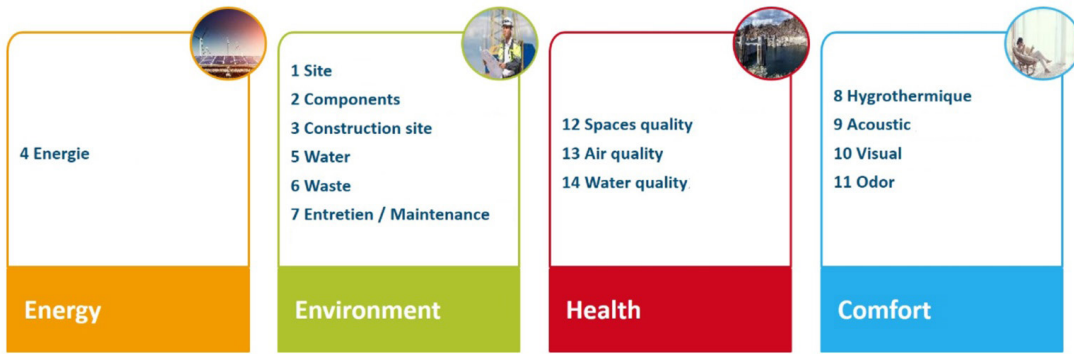


Fig.4. General outline of objectives and goals of HQE certification.

además, todas las plazas de parking contarán con toma de recarga de vehículo eléctrico. El esquema de certificación se basa en 14 objetivos agrupados bajo 4 temas: Energía, Medioambiente, Salud y Confort (Fig. 4).

El certificado HQE correspondiente a la fase de diseño fue entregado el 13 de marzo de 2020. Dentro de este marco conceptual, la obra de construcción de la promoción de Kosta Zabala ha constituido también un proyecto piloto para evaluar las posibilidades de circularidad del yeso (Fig. 5), para lo cual se ha efectuado una gestión particularmente cuidadosa de este material, con contenedores para gestión exclusiva del mismo. Este proyecto piloto se ha desarrollado en colaboración con Placo Saint Gobain y con Ihobe, la sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco.

3.3 EMPLEO DE METODOLOGÍA BIM

La metodología BIM consiste en crear y tratar la información de la infraestructura durante todo su ciclo de vida, compartiéndola entre todos los intervinientes. En este sentido, BIM se define como un "posibilitador estratégico" que mejora la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del activo. Esta metodología se aplica a nuevos proyectos pero también a proyectos de renovación, reacondicionamiento y mantenimiento. Puede combinarse con datos geoespaciales y algoritmos para expandir su potencial [10].

Uno de los resultados fundamentales del proceso es el propio modelo digital, con todos los aspectos relevantes del edificio. Esta definición resalta los tres conceptos fundamentales que caracterizan la metodología BIM:

- BIM es un modelo digital que funciona como un contenedor de información.
- BIM es un proceso para gestionar la información de los modelos
- BIM imponen la colaboración, para que la información de los modelos esté permanentemente actualizada.

La Comisión Europea ha apoyado la adopción de

pany.

3.3 USE OF BIM METHODOLOGY

The BIM methodology consists on creating and processing infrastructure information throughout its life cycle, sharing it among all stakeholders. In this sense, BIM is defined as a "strategic enabler" that improves decision-making throughout the asset's life cycle. This methodology is applied to new projects but also to renovation, refurbishment and maintenance projects. It can be combined with geospatial data and algorithms to expand its potential [10].

One of the fundamental outputs of the process is the digital model itself, with all relevant aspects of the building. This definition highlights the three fundamental concepts that characterise the BIM methodology:

- BIM is a digital model that functions as an information container.
- BIM is a process for managing the information in the models.
- BIM imposes collaboration, so that the information in the models is permanently updated.

The European Commission has supported the adoption of BIM, particularly in public procurement, by developing policies and initiatives to promote digitisation in the construction sector. In this field, its adoption at European level is still moderate, probably due to the structure of the market and the average size of construction companies. In the field of private development, its use is more widespread. At



Fig.5. Example of gypsum management with dedicated containers

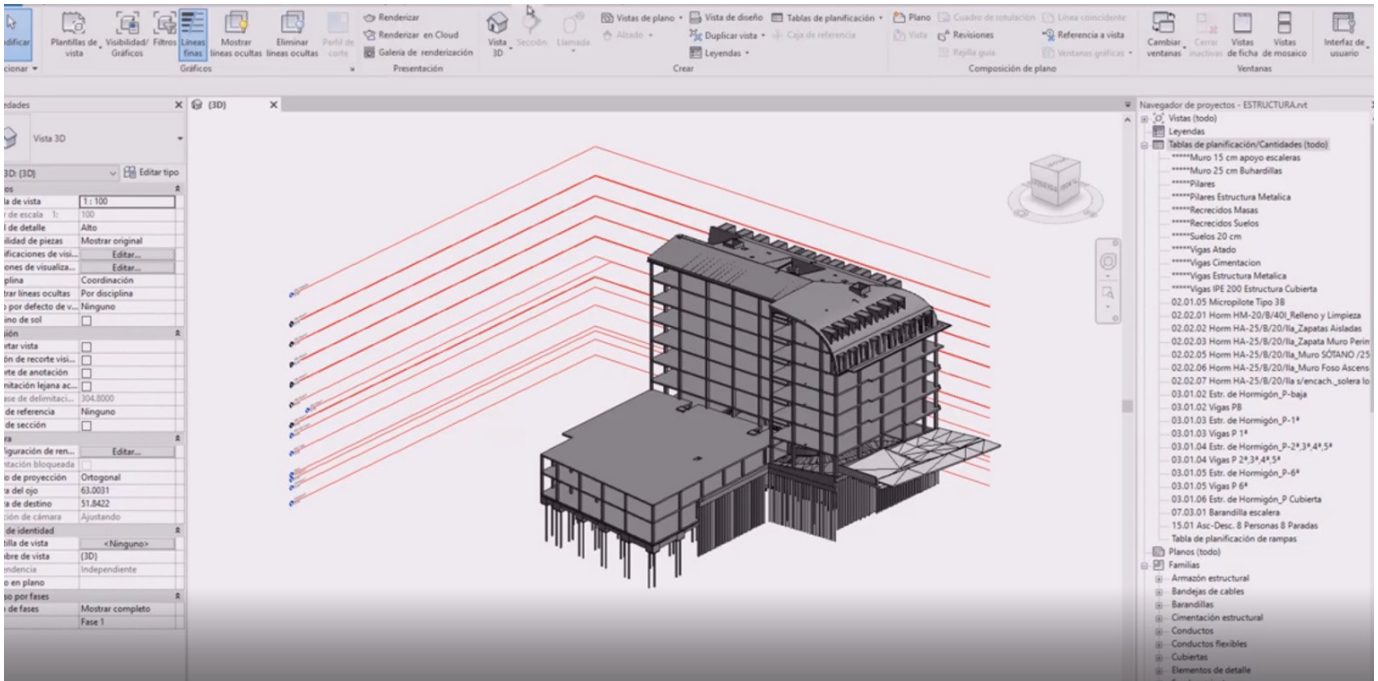


Fig.6.
BIM model of the Kosta Zabala project

BIM, particularmente en la contratación pública, desarrollando políticas e iniciativas para promover la digitalización en el sector de la construcción. En este ámbito, todavía su adopción en el ámbito europeo es moderada, probablemente por la estructura del mercado y el tamaño medio de las empresas constructoras. En el ámbito de promoción privada su uso está más extendido. En Viuda de Sainz comenzamos a emplear la metodología BIM en 2016, y desde entonces son más los proyectos que demandan su empleo, con usos cada vez más avanzados.

En la promoción de Kosta Zabala se ha efectuado un modelo BIM inicial y un modelo as built (Fig. 6), que ha valido principalmente para la detección de interferencias entre las diferentes disciplinas, la comprobación del cumplimiento de diferente normativa sectorial y también como visualización del proyecto por parte de todos los intervinientes.

3.4 EMPLEO DE METODOLOGÍA LPS

La innovación que necesita el sector de la construcción requiere de una promoción de la digitalización y del trabajo colaborativo entre cada uno de sus intervinientes. Además de las herramientas que supone la incorporación de la metodología BIM, antes descrita, en la obra de la calle Zabala se implementó la metodología LPS. Esta metodología está reconocida como una de las mayores herramientas para implementar la filosofía Lean Construction y mejorar la productividad de la construcción [11]. Se ha detectado además en recientes estudios que la combinación entre el empleo de la metodología BIM y la filosofía LEAN presentan sinergias positivas [12].

El término Lean Construction Management (LCM) se deriva de los principios "Lean" que se aplicaban en el sector de la automoción, refiriéndose a los con-

Viuda de Sainz we began to use BIM methodology in 2016, and since then more and more projects are demanding its use, with increasingly advanced uses.

In the Kosta Zabala development, an initial BIM model and an as-built model (Fig. 6) have been carried out, which has been used mainly to detect interferences between the different disciplines, to check compliance with different sector regulations and also to visualise the project for all those involved.

3.4 USE OF LPS METHODOLOGY

The innovation that the construction sector needs requires the promotion of digitalisation and collaborative work between each of its participants. In addition to the tools involved in incorporating the BIM methodology described above, the LPS methodology was implemented in the Kosta Zabala project. This methodology is recognised as one of the most important tools for implementing the Lean Construction philosophy and improving construction productivity [11]. It has also been detected in recent studies that the combination between the use of BIM methodology and the LEAN philosophy has positive synergies [12].

The term Lean Construction Management (LCM) is derived from the "Lean" principles that were applied in the automotive industry, referring to the original concepts used in the Toyota production system. One of the main elements is to maximise value from the customer's point of view, eliminating waiting times or time spent on remanufacturing poorly executed tasks.

The Last Planner system has been developed for the construction industry as a planning and control system. It aims to increase planning reliability and

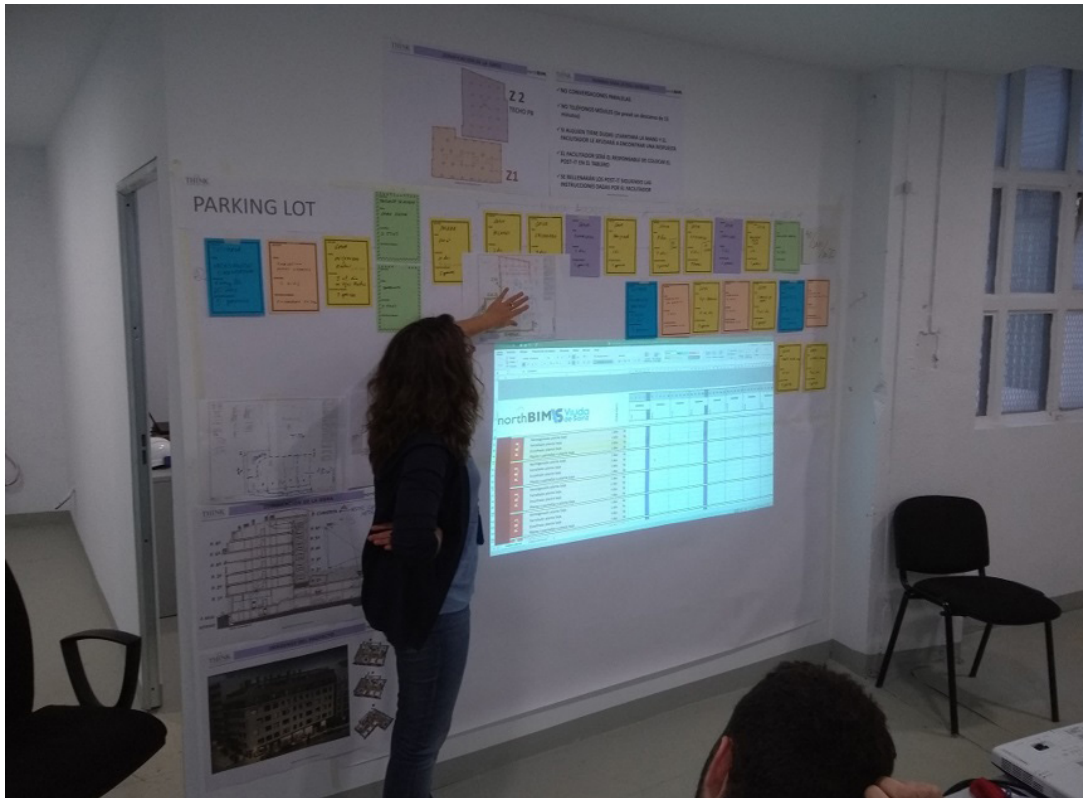


Fig.7.
Weekly planning meeting according to LPS methodology

ceptos originales empleados en el sistema de producción de Toyota. Uno de los elementos principales consiste en maximizar el valor desde el punto de vista del cliente, eliminando los tiempos de espera o el tiempo empleado en la remanufactura de tareas mal ejecutadas.

El sistema Last Planner se ha desarrollado para la industria de la construcción como un sistema de planificación y control. Pretende incrementar la fiabilidad de la planificación y suavizar los flujos de trabajo, y se considera uno de los más importantes métodos "Lean" en la ejecución de la construcción. El sistema LPS pretende conseguir sus objetivos a través de la colaboración, la transparencia, la mejora continua y los compromisos de los responsables para que cada uno complete su trabajo de forma coordinada con el resto.

Con este sistema, cada tarea en la que se divide la construcción del edificio se categoriza en torno a cuatro grupos durante su ejecución, con varios niveles de planificación, mensual, semanal y diaria y de tareas ejecutadas. Esta lógica se corresponde con un nivel de detalle diferente, que se va ajustando en cada reunión semanal de planificación (Fig. 7).

Este método se completa con el análisis detallado de las razones por las que eventualmente una tarea no ha podido realizarse a tiempo, así como la puesta en común de la metodología entre todos los intervinientes.

5. CONCLUSIONES

La promoción de vivienda libre es un reto perma-

smooth workflows, and is considered one of the most important "Lean" methods in construction execution. The LPS system aims to achieve its objectives through collaboration, transparency, continuous improvement and commitments from the responsible parties to complete their work in coordination with each other.

Under this system, each task in the building construction is categorised into four groups during its execution, with various levels of planning, monthly, weekly, daily and executed tasks. This logic corresponds to a different level of detail, which is adjusted at each weekly planning meeting (Fig. 7).

This method is complemented by a detailed analysis of the reasons why a task may not have been completed on time, as well as the sharing of the methodology among all those involved.

5. CONCLUSIONS

The development of free housing is a permanent challenge that has to respond to the changing demands of society. Although the outbreak of the COVID19 pandemic has distorted both supply and demand, it is foreseeable that when the market stabilises, aspects related to sustainable construction will be increasingly valued. The Kosta Zabala development has followed three combined differentiation strategies that make it unique in its environment: obtaining an accredited sustainability certificate, the use of BIM methodology during the early stages of the structure's life cycle and the use of the LPS philosophy to seek to optimise its construction. The joint application of BIM methodology and BIM philosophy

nente que ha de responder a la demanda cambiante de la sociedad. Aunque la irrupción de la pandemia de COVID19 ha distorsionado tanto la oferta como la demanda, es previsible que cuando el mercado se estabilice se valoren cada vez más los aspectos relacionados con la construcción sostenible. En la promoción de Kosta Zabala se han seguido tres estrategias de diferenciación combinadas que la hacen única en su entorno: la obtención de un certificado de sostenibilidad acreditado, el empleo de la metodología BIM durante las primeras etapas del ciclo de vida de la estructura y el empleo de la filosofía LPS para buscar la optimización de su construcción. La aplicación conjunta en un proyecto de edificación de la metodología BIM y de la filosofía BIM es muy innovadora, y existen muy pocas referencias en la literatura científica. Esta combinación de metodologías ha permitido a los intervinientes mejorar los flujos de trabajo, asegurando el cumplimiento de todos los hitos contractuales.

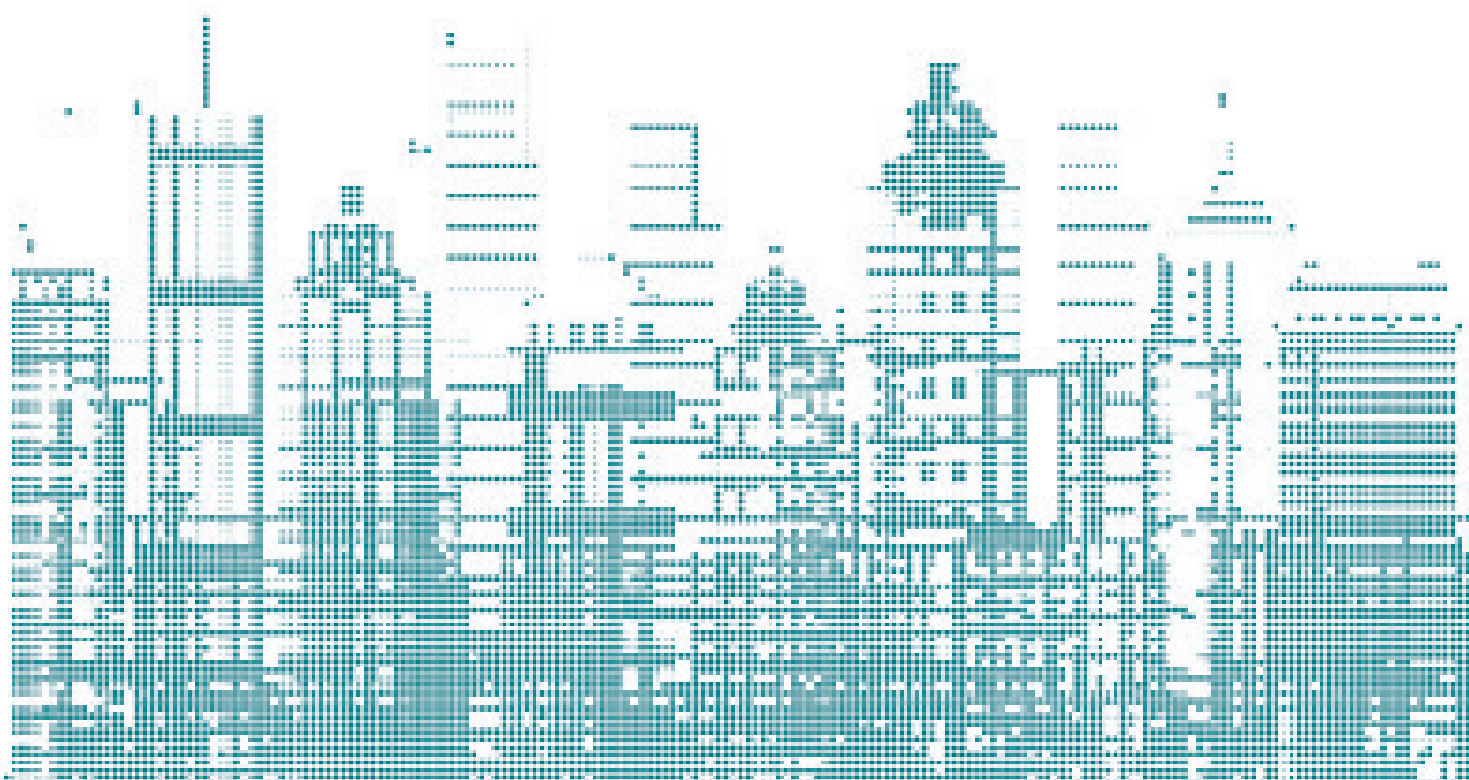
in a building project is very innovative, and there are very few references in the scientific literature. This combination of methodologies has allowed the stakeholders to improve workflows, ensuring that all contractual milestones were met.

REFERENCIAS / REFERENCES

- [1] García-Badell, G., & Blanco, M. (2016). ¿Podemos ser racionales al comprar una casa? Una visión desde la Economía Conductual. Cuadernos De Estudios Empresariales, 26, 105-123. <https://doi.org/10.5209/CESE.54162>
- [2] Rogers, D., & Power, E. (2020). Housing policy and the Covid-19 pandemic: the importance of housing research during this health emergency. Taylor & Francis
- [3] Monzón, Laura (2020). Una mirada reflexiva a la vivienda en la era post-covid. Blog de Wires. <https://wires.es/una-mirada-reflexiva-a-la-vivienda-en-la-era-post-covid/>
- [4] McKinsey & Company (2020). The next normal in construction. How disruption is reshaping the world's largest ecosystem. June 2020
- [5] United Nations Environment Programme (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi
- [6] Ascobi. Asociación de Constructores de Bizkaia (2020). Informe Ascobi 2020. Bilbao
- [7] Raya, J.M. (2020). El impacto de la pandemia en el mercado de la vivienda en España: diagnóstico y políticas. EsadeEcPol Insight #20
- [8] Gobierno Vasco. Departamento de Planificación Territorial, Vivienda y Transportes (2020). Dinámica y perspectiva del mercado inmobiliario de la Comunidad Autónoma de Euskadi. Encuesta sobre oferta inmobiliaria. Vitoria – Gasteiz
- [9] Leskinen, N.; Vimpari, J.; Junnila, S. A Review of the Impact of Green Building Certification on the Cash Flows and Values of Commercial Properties. Sustainability 2020, 12, 2729. <https://doi.org/10.3390/su12072729>
- [10] European Construction Sector Observatory (2021). Digitalisation in the construction sector. Analytical report. European Commission
- [11] del Solar, Patricia; del Rio, Mercedes; Fuente, Raúl; Esteban, Celia (2021). Collaborative work tools in Spanish construction sector. Best practice proposal to implement Last Planner System (LPS). Informes de la Construcción, 73(561): e383. <https://doi.org/10.3989/ic.77475>
- [12] Schimanski, C.P.; Marcher, C.; Monizza, G.P.; Matt, D.T. The Last Planner® System and Building Information Modeling in Construction Execution: From an Integrative Review to a Conceptual Model for Integration. Appl. Sci. 2020, 10, 821. <https://doi.org/10.3390/app10030821>

Sesión póster

Poster session



Evaluation of forest biomass as renewable energy source to reduce the environmental impact of University campuses

Evaluación de la biomasa forestal como fuente de energía sostenible para reducir el impacto medioambiental de los campus universitarios

Alba Arias Royo¹, Iñigo León¹, Xabat Oregi¹, Cristina Marieta²

ABSTRACT

Nowadays, environmental quality is in high demand by society. The main problems related to cities also affect the ecosystem, as there is a tendency to extract resources from other regions, which are also affected by pollution. The reduction of the environmental impacts generated by cities is one of the European strategic challenges. It is included and regulated by different directives with specific goals (2020, 2030, 2050 strategies). In consequence, it is necessary to develop sustainable urban planning. Environmental sustainability cannot only be achieved through specific interventions that are limited to actions at local or neighborhood level. It is essential to apply them at territorial, regional and national levels. Moreover, young people are demanding change, and, as the University is a fundamental pillar of our society, it is its duty to be a reference in this area. Besides, university campuses can often be considered as small cities that have a significant environmental impact on the different territories in which they are located. Thus, this project will analyse the main enclaves of university campuses in the three territories of the Aquitaine-Euskadi and Navarre Euroregion. It has mainly analysed the use of forest biomass, assessing its environmental impact, feasibility, efficiency and the resources needed to supply each campus. The campuses assessed are the University of the Basque Country UPV/EHU in Donostia, the University of Navarre UNAV in Pamplona and the University of Pau and Pays de l'Adour UPPA in Anglet. The use of forest biomass has been mainly analysed, assessing its impact on the environment, feasibility, efficiency and resources needed to supply each campus. The study was carried out using the NEST (Neighbourhood Evaluation for Sustainable Territories) tool, a quantitative evaluation tool for environmental impacts of urban projects that also allows a comparison of scenarios. NEST conducts calculations taking into account the LCA (Life Cycle Assessment), an environmental evaluation mechanism that quantifies the potential environmental impacts of a product or process from the acquisition of raw materials, through production, use, final treatment, recycling, to final disposal. Although the European directives establish improvement objectives for 2030 and 2050, taking 1990 as a reference year, this study has defined these improvements taking 2020 as the baseline scenario. As a result of the study, it has been obtained that the use of biomass reduces greenhouse gases, but the energy demand remains similar to that of the use of a gas boiler, as the energy efficiencies are similar.

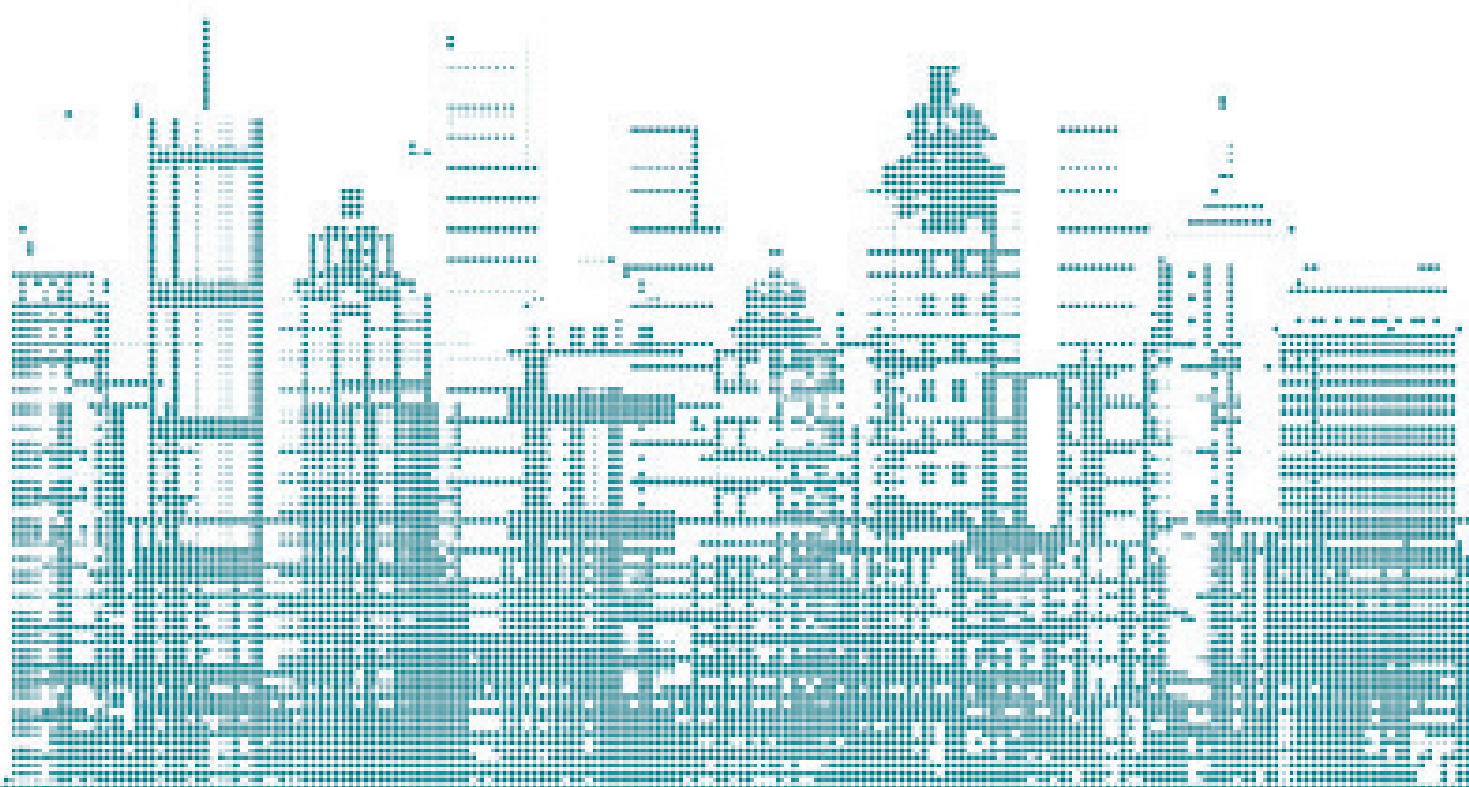
Key Words: Forest biomass, Renewable energy transition, Decision support tool, Life cycle assessment, University environmental impact

(1) Basque Country University (UPV/EHU), Architecture Department, Plaza Oñati, 2, 20018 Donostia - San Sebastián, Spain

(2) Department of Chemical and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of the Basque Country UPV/EHU, Plaza Europa 1, 20018 San Sebastián, Spain

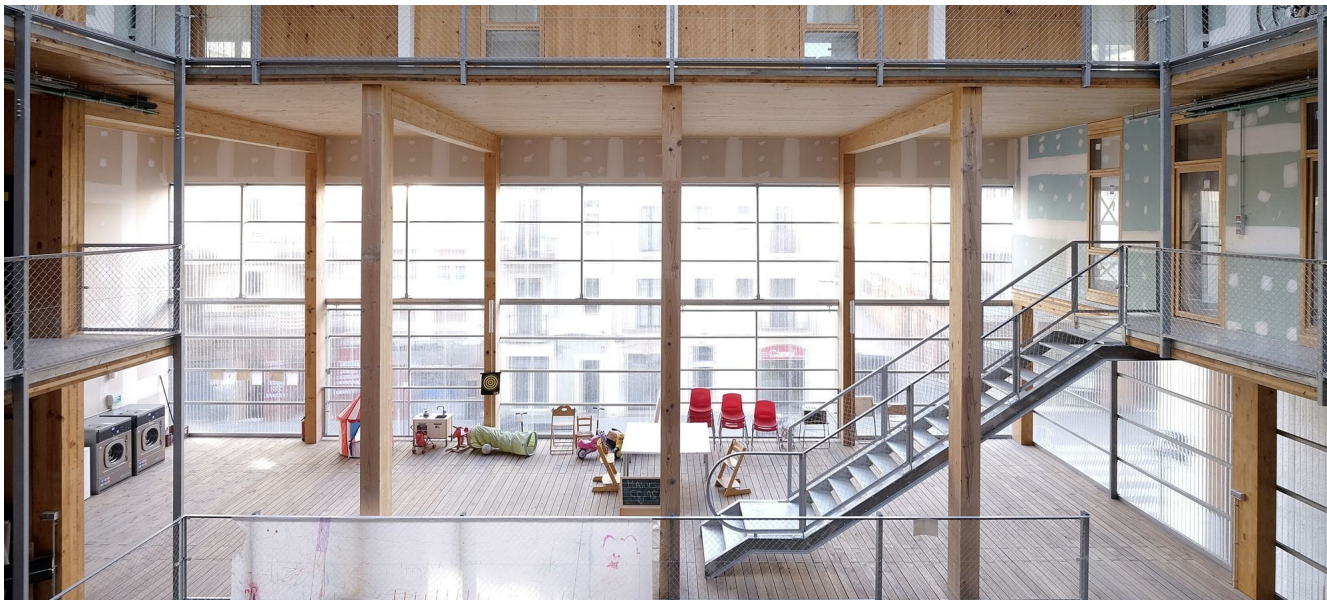
Patrocinadores platino

Platinum sponsors



LA CIUDAD EFICIENTE Y SOSTENIBLE DEL FUTURO TIENE A LA MADERA COMO REFERENTE

LOS AVANCES TECNOLÓGICOS Y EL AUMENTO DE LA CONCIENCIA MEDIOAMBIENTAL HAN PROPICIADO UNA GRAN REVOLUCIÓN EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA. **BASKEGUR** CUENTA CON EMPRESAS SOCIAS REFERENTES EN EL SECTOR, CON UN GRAN POTENCIAL DE CRECIMIENTO.



La llamada economía verde es el futuro. Y son muchos los campos en los que podemos y debemos hacer esfuerzos para lograr vivir en entornos cada vez más respetuosos con el medio ambiente. Euskadi es un país forestal, con la madera como recurso km0 obtenida de la gestión sostenible de nuestros bosques. Y cuenta con empresas punteras para poder diseñar, producir y edificar las ciudades del futuro. Pero hasta la fecha han sido puntuales los grandes proyectos en los que se ha utilizado la madera en nuestro entorno.

El sector forestal madera vasco, representado en **Baskegur**, reivindica una apuesta más decidida de la iniciativa pública y privada para dar un salto que nos homologue con los Estados más punteros.

Hoy en día los países compiten por edificar los rascacielos más altos con materiales sostenibles y renovables y los arquitectos internacionales con más prestigio se han sumado al compromiso medioambiental de proyectar sus creaciones con el material renovable por excelencia.

Ver rascacielos como el construido en Brumunddal, a 150 km de Oslo, son un exponente de cuál ha sido la evolución en el uso de la madera como material constructivo. Pero hay muchos más ejemplos, como el imponente proyecto de la empresa japonesa Sumitomo Forestry que pretende tener lista su torre de 350 metros de altura en Tokio para 2041.

Hay naciones que llevan años de apuesta por la construcción sostenible, potenciando la compra pública verde, y garantizando que los criterios medioambientales forman parte de los pliegos de contratación. Los países nórdicos lideran el mercado de la construcción en madera, siendo incluso la forma de edificación más común por esas tierras.

LA APUESTA DE LA UE POR EL DESARROLLO DE LA BIOECONOMÍA ES UNA OPORTUNIDAD PARA REFORZAR LA I+D+I ASOCIADA A LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA

En Alemania se levantan en madera cerca del 40% y en Estados Unidos y Canadá los porcentajes se acercan al 80%. En el Estado español no se llega a una cuota de mercado del 2% y en el País Vasco tampoco mejoramos la cifra.

El ministerio de Ciudades y Vivienda de Francia ya ha puesto en marcha un ambicioso proyecto para repensar el modelo gallo de ciudad. Y la madera juega un papel decisivo. A partir del próximo año las construcciones de vivienda pública deberán contar por ley común con un 50% de madera, ya sea en acabados, estructura... Con anterioridad a este anuncio, el ayuntamiento de París ya había mostrado su apuesta por la construcción sostenible al anunciar que la madera será crucial para edificar las nuevas estructuras de los Juegos Olímpicos de 2024 siendo el material elegido para todos los edificios de hasta ocho pisos.

Son las llamadas "ville en Bois" que se han popularizado en grandes ciudades galas para dar forma a los nuevos barrios de la periferia o a regeneraciones urbanísticas en pleno centro. En Burdeos se construye el proyecto Hypérion en el nuevo barrio Euratlantique que es un fiel reflejo de esta apuesta por la construcción ecológica.

En Japón, Canadá, Australia y en los países nórdicos se han realizado rigurosos estudios que demuestran los beneficios que vivir en entornos naturales presentan para el bienestar de los ciudadanos frente a las densas urbes de hormigón y cristal.

Euskadi ante el reto de construir las nuevas ciudades

En Euskadi contamos con empresas punteras en la construcción en madera y con aserraderos líderes en el estado. También con una red de empresas especializadas en diferentes soluciones constructivas que aportan una excelente base para el desarrollo de las edificaciones en madera. Paneles de CLT, muros cortina, sistemas de entramado ligero ... son algunas de las terminologías habituales en las edificaciones en madera, cada vez más populares entre los prescriptores.



Las vigas laminadas de roble que dan forma al edificio de la conocida farmacéutica AstraZeneca en Cambridge han salido de los talleres del Grupo Gámiz en Santa Cruz del Campezo (Araba). También son destacables los proyectos de la firma Egoín radicada en Matxitua (EA) actualmente inmersa en la construcción del primer edificio verde de Galicia y que va a ser el primer barrio bioclimático y ecosostenible del Estado en la provincia de Lugo.

Tan importante como tener empresas preparadas para realizar soluciones constructivas en madera con la última tecnología de vanguardia es contar con profesionales capaces de entender el cambio en el modelo de edificación y apostar por la sostenibilidad. Por ello **Baskegur**, junto al **Gobierno Vasco**, lideró hace tres años la puesta en marcha del Máster en Estructuras, Construcción y Diseño en Madera que se imparte en la Facultad de Arquitectura de la UPV/EHU en el Campus de San Sebastián. Iniciativa que se complementa con la colaboración que Baskegur mantiene con el Máster en Ingeniería de la Construcción que imparte la Escuela de Ingenieros de la UPV/EHU en su Campus de Bilbao. La Asociación de la Madera de Euskadi ayuda en la confección de los temarios relativos al uso de la madera y la apuesta medioambiental en los procesos constructivos.



building home office

HOLA, SOMOS... LA SOLUCIÓN

Nuestra compañía aporta productos y servicios enfocados a la construcción de edificios eficientes y saludables para las personas. Somos expertos en dar solución al hueco transparente y a la zona o capa exterior de cualquier tipo de edificio, así como en la distribución de espacios con sistemas de mamparas de oficinas destinadas a proyectos de interiorismo.



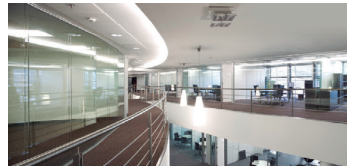
01 BUILDING SOLUTIONS



02 HOME SOLUTIONS



03 OFFICE SOLUTIONS



► Fachadas Ventiladas con Panel composite Albond

- **Diseño:** Nuevas posibilidades de diseño para la imaginación arquitectónica.
- **Ahorro:** Eficiencia y confort para los hogares.
- **Versátil:** En formas y tamaños es ideal para edificios singulares y de altura.
- **Seguridad:**

Material resistente al fuego, impermeable y duradero. Liger, no sobrecarga el edificio.

► Miradores y ventanas de grandes prestaciones con aluminio RPT

► Barandillas y celosías de aluminio y vidrio para embellecer el edificio

► Aluminio para la mejora en la accesibilidad de todos los usuarios

► Cerramientos de aluminio RPT para todos sus proyectos de viviendas con Sistemas Itesal

- Ventanas y puertas de altas prestaciones, con alta eficiencia energética.
- Aluminio, material saludable para las personas.
- Seguridad y confort.

► Motorización y Domótica para su comodidad

- Accesibilidad.
- Sistemas de apertura especiales.

► Control solar, sistemas de protección de sobrecalentamiento de edificios con Griesser

Sistemas de compartimentación de oficinas Rauman

► Diálogo con la luz

Luminosidad, transparencia y diseño. Comunicación visual en un entorno de diseño minimalista con todo tipo de soluciones de cierre.

► Creamos espacios

Diseñamos hoy los sistemas de compartimentación del mañana.

► Soluciones Universales

Utilizamos materiales de primera calidad respetuosos con el Medio Ambiente para productos excepcionales.

► Comunicación

Proporcionamos información cuantificada y verificable sobre el desempeño ambiental de un producto a través de EPD.

► Certificaciones y Homologaciones

Impacto, insonorización, desmontabilidad, registrabilidad, reinstalabilidad, resistencia estructural...

► Customizamos nuestro sistema para adaptarlo a tus ideas

SERVICIOS DE ASISTENCIA TÉCNICA

eibho

A TEC

- Cálculos justificativos del cumplimiento del CTE para proyectos que lo requieran.
- Resolución de nudos y encuentros en obras para proyectos
- Cálculos mecánicos de los sistemas de aluminio incluidos en el proyecto (carpinterías, muros cortinas, lucernarios, verandas).
- Presupuestos orientativos en fase de proyecto y presupuestos de talleres en fase de ejecución.
- Presentación de muestras y cartas de colores de anodizados, lacados y lacados especiales.
- Aportamos herramientas justificativas para proyectos, estudios técnicos concretos y detallados.



EXPERIENCIA

Expertos en el hueco transparente y la zona opaca.



TRANSVERSAL

Integramos distintas soluciones constructivas para que trabajen en armonía en el edificio.



SHOWROOM

Descubre nuestros productos visitando nuestros showrooms. Soluciones que se pueden ver y tocar.



ALUMINIO

Multitud de propiedades en un único material, 100% reciclable con grandes cualidades de eficiencia y sostenibilidad.



ASESORAMIENTO

Servicio personalizado de asesoramiento proyecto a proyecto.



RENTABILIDAD

El servicio de ATEC genera valor desde el planteamiento inicial del proyecto así como en el desarrollo del mismo.



EQUIPO

Profesionales técnicos y comerciales cualificados.



COLABORACIÓN

Colaboración en toda la cadena de valor, también con constructora e instalador.



DELEGACIONES

20.000 m² de instalaciones para garantizar el éxito de los proyectos.



PRODUCTO

Amplia gama de productos y soluciones.



Declaración ambiental de producto 75% de la producción con aluminio reciclado.



Descubre todos nuestros servicios y productos en nuestra web.



ASESORAMIENTO

Déjate asesorar por nuestro equipo comercial sobre la ventana que mejor se ajusta a tus necesidades y preferencias.



DISTRIBUIDOR

Elige tu distribuidor homologado de zona para una garantía de fabricación e instalación profesional. www.eibho.com



POSIBILIDADES

Visita nuestra web y crea tu propio proyecto. www.eibho.com/configurador



SHOWROOM

Visita nuestros showroom para comprobar la calidad de nuestros sistemas, las posibilidades de apertura y la diversidad de herrajes.

Portu arduratsu eta berritzailea

Un Puerto responsable e innovador



Azalera guztira
Superficie total

405 ha

Atrakaleku-lerroa
Línea de atraque

22 km

Portuen lehorren aza.
Sup. puertos secos

55 ha

Miloi tona
Millones de toneladas

35,4

Ontzi
Buques

2.818

TEU
TEUs

629.425

Trenes
Tren

4.800



Bilboko Portuko agintaritza
Autoridad Portuaria de Bilbao

+34 94 487 12 00
comercial@bilbaoport.eus
www.bilbaoport.eus



► e-puertobilbao, eragiketen arintasunerako funtsezko tresna

e-puertobilbao, herramienta clave para la agilidad de las operaciones



Zerbitzu telematikoak
Servicios telemáticos



BREXIT zerbitzuak
Servicios BREXIT

+ 800

enpresa erregistratuak
empresas registradas

+ 1.340

bezero egunero lan egiten
clientes trabajando
diariamente

Hidrogeno berdea

Petronor enpresak energia berriztagarria erabiliz sortutako hidrogeno berdearekin erregai sintetikoak ekoizteko munduko instalazio handienetako bat eraikiko du Portuan.

Hidrógeno verde

Petronor construirá en el Puerto una de las mayores plantas mundiales de producción de combustibles sintéticos a partir de hidrógeno verde, generado con energía renovable.



Gas-zerbitzugunea

Repsol Portu honetan ontziak gasez hornitzeko bere lehen gas-zerbitzugunea eraikitzen ari da, 2022an martxan jarriko dena.

Gasinera

Repsol está construyendo en este Puerto su primera gasinera para abastecer de gas a los buques, que estará en funcionamiento en 2022.



► **Berrikuntza irekia**
Innovación abierta

Bilbao PortLab-ek enpresa berritzaileei portu-erronka berriei aurre egiteko laguntzen die

Bilbao PortLab apoya a empresas innovadoras para afrontar los nuevos retos portuarios



Ehun enpresa berritzaile inguru hurbildu dira Portura

Cerca de cien empresas innovadoras se han acercado al Puerto

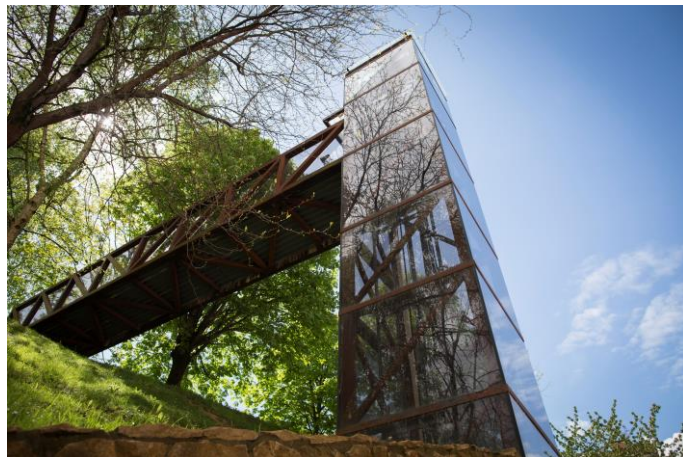
Portu arduratsua...

- Led teknologiari esker energiaren % 50 baino gehiago aurrezten duen kanpoko argiteria duena.
- Bere ibilgailu berrien % 90k erregai alternatiboak bultzatuta izango dituena.
- Airearen kalitatearen jarraipena eta kontrola egiten duena.
- Ingurumen-jardunbide egokietarako hitzarmena duena, sinatu duten enpresei jardueratan hobera izateko aukera ematen diena.
- 2020an, co2-emisioak % 66 murriztu dituena.
- 2022. urtearen amaieran, karbonoz neutroa den agertokia 2050erako lortzeko, energia-trantsizioko plana izango duena.

Un puerto responsable que...

- Cuenta con un alumbrado exterior con tecnología LED: ahorro de más del 50% de energía.
- Utilizará combustibles alternativos en el 90% de sus nuevos vehículos.
- Realiza el seguimiento y control de la calidad del aire.
- Dispone de un convenio de buenas prácticas ambientales, que permite a las empresas firmantes una bonificación en la tasa de actividad.
- En 2020 redujo las emisiones de CO2 en un 66%.
- En 2022 contará con un plan de transición energética, con el fin de conseguir un escenario neutro en carbono para 2050.

Empresa de servicios profesionales de ingeniería y arquitectura pluridisciplinar, creada en el año 2001. Desde hace años, **i-ingenia** es un referente en materia de **accesibilidad y diseño de espacios urbanos**, y recientemente ha reforzado su equipo de arquitectura con el objetivo de ser un referente en materia **eficiencia energética, sostenibilidad y BIM**, destacando por la alta cualificación técnica de su equipo, y por su servicio volcado a las necesidades del cliente. **i-ingenia** desarrolla sus proyectos apoyándose en datos y cuantificaciones objetivas, que permitan analizar de manera honesta el ciclo de vida y costes, completo de los proyectos.



ESPACIOS URBANOS



ARQUITECTURA Y EDIFICACIÓN



Accesibilidad



Parques infantiles



Diseño urbano



Smart city



Arquitectura sostenible



Rehabilitación energética




Consultoría técnica



BIM





ARQUITECTURA SOSTENIBLE

Arquitectura responsable, arquitectura del mañana



REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

Confort, eficiencia y ahorro



CONSULTORÍA

Eficiencia Energética y Sostenibilidad



BIM

Especialistas en la implantación y desarrollo de proyectos en BIM

www.i-ingenia.com



Ibermática es una compañía global de servicios de Tecnologías de la Información que lleva operando en el mercado desde 1973.

258 M€ de ingresos

>20 centros operativos

3.788 profesionales

1 factoría de software

>10% ingresos internacionales

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

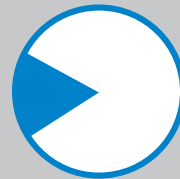
61%
ProA
Capital



15%
Kutxabank



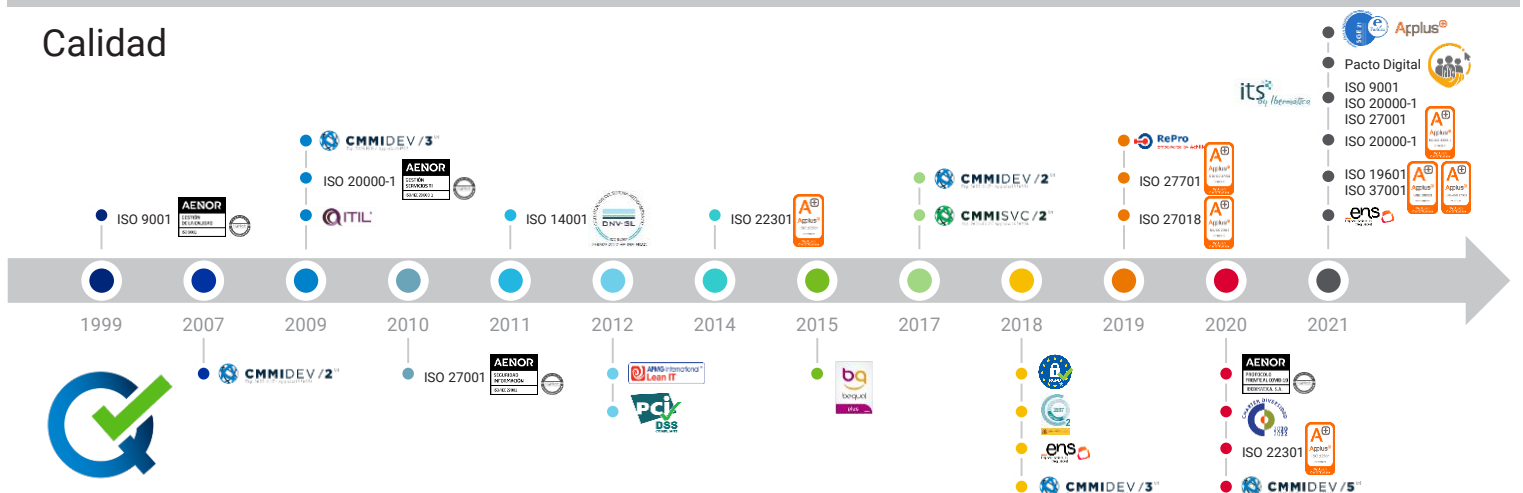
15%
ONCE



9%
Equipo directivo,
incluyendo
autocartera



Calidad



Sectores



Industria



Administración Pública



Telco y Media



Energía y Utilities



Servicios Financieros y Seguros



Salud



Servicios y Retail

Prácticas digitales

- Social
- Mobile
- Analytics
- Cloud



- +DevOps
- Blockchain
- ADI / AI
- Innovación

Centros de Excelencia

- SAP
- Microsoft
- Hybrid IT
- Ciberseguridad

Líneas de servicio core



BPS



AMS



ITO Infraestructuras

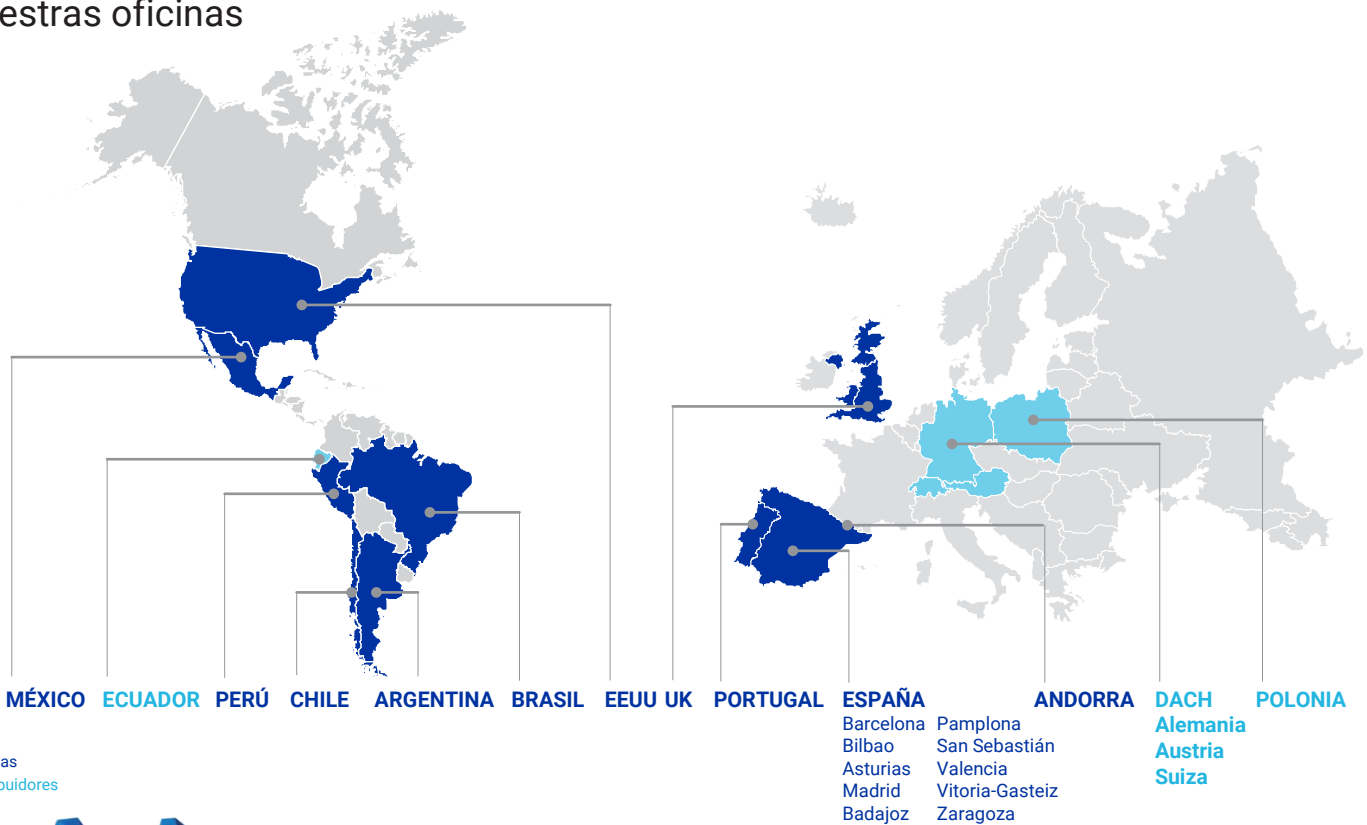


Proyectos de desarrollo e integración



Soluciones empresariales

Nuestras oficinas



- Oficinas
- Distribuidores

Ibermática

www.ibermatica.com

info@ibermatica.com



902 413 500 / 91 384 91 00



LAS MEJORES VENTANAS
PARA TU HOGAR

LAS MEJORES VENTANAS
PARA TU PLANETA



Cuidate, cuidanos.

VEKA, lider mundial en fabricación de **perfiles de PVC** para ventanas, tambien es lider **en proteger el medioambiente.**

VEKA aplica en su proceso productivo las tres "erres" de la sostenibilidad: **Reducir, Reutilizar y Reciclar**, con el objetivo de cuidar el medioambiente y aplicar los principios de la economía circular.

VEKA recicla en sus 3 plantas europeas **3,3 millones de ventanas anualmente.**



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 4 continentes, a través de sus 36 filiales y sus 24 plantas de fabricación en el mundo.

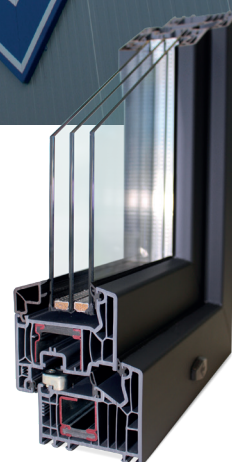
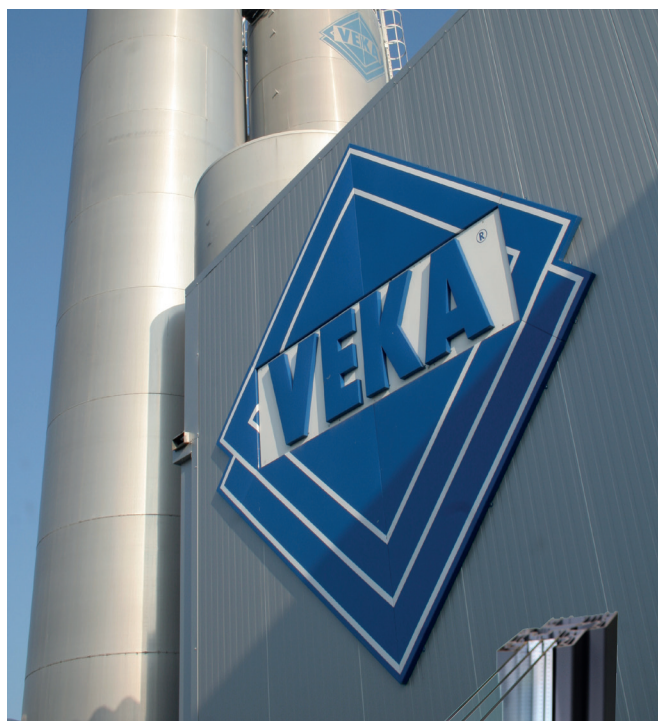
La filial para España y Portugal, **Vekaplast Ibérica**, cuenta con una planta de extrusión de perfiles de PVC ubicada en Burgos, con más de 14.000m² de instalaciones. Con esta infraestructura, **VEKA** desarrolla en la Península sistemas de perfiles de PVC, que dan respuesta a las necesidades de carpintería 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 1.0**, 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.



Siga a VEKA Ibérica en:



www.veka.es



Creamos mejores espacios de vida

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea