

# Greencities

10° Foro de Inteligencia y Sostenibilidad Urbana  
10<sup>th</sup> Forum of Urban Intelligence and Sustainability

## Comunicaciones Científicas



#igcMalaga

[www.igcmalaga.com](http://www.igcmalaga.com)

**Edita:**

Palacio de Ferias y Congresos de Málaga – FYCMA

**Dirección:**

M<sup>a</sup> Luisa Gómez Jiménez

**Coordinación:**

Olga Romero Guisado

**ISBN:** 978-84-09-09960-3

## INTERNATIONAL GREENCITIES CONGRESS

Actas del X International Greencities Congress  
Málaga, 27-28 de marzo de 2019

### Autores

Katja Aikas	Rafael Hernández
Andrés Alcántara	Noemí Jiménez Redondo
Rafael Álvarez	Jaime Martín Pascual
Juan Antonio Bandera Cantalejo	Juan A. Martínez
Sergio Barroso	María Luisa Martínez Segarra
Inmaculada Bote	Beatriz Montalbán
Antonio Bueno Granadino	Nuria Nebot Gómez de Salazar
Pablo Bustos	Pedro Núñez
Gloria Calleja Rodríguez	José A. Ondiviela
Fernando Calvo Redruejo	J. Arturo Ortiz
Nicolò Ceccomarin	José Miguel Peña Suárez
Pedro de Grado	Juan Jacobo Peralta Escalante
Tatiana Delgado	Raymari Reyes
María Dolores Donaire	Ángel Enrique Salvo Tierra
José Alberto España Pérez	Agustín Sánchez
José María Fernández González	Alexander Sánchez
Francisco Fernández Hernández	Antonio Skarmeta
Francisco Galacho Soler	Elena Turrado
Pablo García	Montserrat Ventura
Pedro González	Jesús Vías Martínez
María del Carmen González Muriano	Montserrat Zamorano Toro

# ÍNDICE

Comité científico.....	06
Lista de autores.....	06

## **Bloque I – ACTUACIONES SOSTENIBLES EN LA EDIFICACIÓN**

### Comunicaciones

eTeacher – Tecnologías para motivar el cambio de comportamiento energético para la mejora de la eficiencia energética .....	09
---	----

Noemí Jiménez Redondo  
Gloria Calleja Rodríguez  
Juan Jacobo Peralta Escalante

Portal web para el seguimiento de la eficiencia energética en el sector residencial .....	19
---	----

María Luisa Martínez Segarra  
Antonio Bueno Granadino

SmartPoliTech: estimación del consumo de agua basado en modelo de mezclas de Gaussianas .....	37
---	----

Sergio Barroso  
Agustín Sánchez  
Pedro Núñez  
Pablo García  
Pablo Bustos

## **Bloque II – ACTUACIONES SOSTENIBLES DEL ESPACIO URBANO**

### Comunicaciones

Delimitación conceptual del término Smart Mobility .....	54
--	----

José Alberto España Pérez

Soluciones basadas en la naturaleza (SbN) asociadas a cauces fluviales en ambiente urbano .....	66
---	----

Katja Aikas  
Ángel Enrique Salvo Tierra  
Andrés Alcántara

Mapa de los espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta en la ciudad de Málaga.....86

Francisco Galacho Soler  
Jesús Vías Martínez  
Nuria Nebot Gómez de Salazar

### **Bloque III – CICLO DE VIDA DE LA CIUDAD Y SUS CONSTRUCCIONES**

#### Comunicaciones

Laboratorios urbanos para ciudades inteligentes. Primeros pasos en municipios cubanos.....99

Tatiana Delgado  
Alexander Sánchez  
Raymari Reyes

Simulación de Montecarlo para determinar el coste-beneficio de alternativas para el reciclaje de la fracción orgánica de los residuos municipales..... 111

Montserrat Zamorano Toro  
Jaime Martín Pascual  
José María Fernández González  
Fernando Calvo Redruejo  
Nicolò Ceccomarini

Acercamiento teórico al concepto de economía circular en los núcleos poblacionales desde una perspectiva macro..... 128

Inmaculada Bote  
Beatriz Montalbán

### **Bloque IV – ACTUACIONES SOSTENIBLES DEL ESPACIO URBANO**

#### Comunicaciones

Eficiencia hidroenergética e integración de equipos de riego urbanos de toda una ciudad..... 142

Juan A. Martínez  
Rafael Álvarez  
Pedro de Grado  
J. Arturo Ortiz  
Pedro González  
Antonio Skarmeta

Energía cercana ..... 153

María Dolores Donaire  
Rafael Hernández  
Elena Turrado

**Impacto del control eficiente de los sistemas de HVAC en la sostenibilidad y eficiencia energética.....170**

Francisco Fernández Hernández  
José Miguel Peña Suárez  
Juan Antonio Bandera Cantalejo  
María del Carmen González Muriano  
Montserrat Ventura

**Beyond Smart Cities 2.0: How to create an Attractive City for Talented Citizens?  
.....183**

José Antonio Ondiviela

## **COMITÉ CIENTÍFICO**

El Comité Científico del X International Greencities Congress estuvo integrado por los siguientes miembros:

- Giampero Bambagioni, Universidad de Perugia
- Javier Boned Purkiss, Universidad de Málaga
- Tomás Caballero Sanguino, Colegio Oficial de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales de Málaga
- José Antonio Conde Heredia, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Málaga
- José Ramón de Andrés Díaz, Universidad de Málaga
- Ann Forsyth, Universidad de Harvard
- Alfonso Gago Calderón, Universidad de Málaga
- Cristina Gallardo Ramírez, Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga
- María Luisa Gómez Jiménez, Universidad de Málaga
- Ester Higuera García, Universidad Politécnica de Madrid
- Helena Madureira, Universidad de Oporto
- María del Pilar Mercader Moyano, Universidad de Sevilla
- Guido Rings, Universidad Anglia Ruskin de Cambridge
- Carlos Rosa Jiménez, Universidad de Málaga
- Celestino Ruivo, Universidad de Algarve
- Francisco Serrano Casares, Universidad de Málaga
- Antonio Vargas Yáñez, Colegio Oficial de Arquitectos de Málaga

## **LISTA DE AUTORES**

- Aikas, Katja: International Union for the Conservation of Nature (IUCN)
- Alcántara, Andrés: International Union for the Conservation of Nature (IUCN)
- Álvarez, Rafael: Ayuntamiento de Logroño
- Bandera Cantalejo, Juan Antonio: Corporación Empresarial Altra S.L.
- Barroso, Sergio: Universidad de Extremadura
- Bote, Inmaculada: Universidad de Extremadura
- Bueno Granadino, Antonio: Ayuntamiento de Motril

- Bustos, Pablo: Universidad de Extremadura
- Calleja Rodríguez, Gloria: CEMOSA
- Calvo Redruejo, Fernando: Proma, Proyectos de Ingeniería Ambiental S.L.
- Ceccomarini, Nicolò: Università di Bologna
- De Grado, Pedro: Ayuntamiento de Logroño
- Delgado, Tatiana: Unión de Informáticos de Cuba
- Donaire, María Dolores: Universidad Camilo José Cela
- España Pérez, José Alberto: Universidad de Málaga
- Fernández González, José María: Proma, Proyectos de Ingeniería Ambiental S.L.
- Fernández Hernández, Francisco: Corporación Empresarial Altra S.L.
- Galacho Soler, Francisco: Polo Digital
- García, Pablo: Universidad de Extremadura
- González, Pedro: Universidad de Murcia
- González Muriano, María del Carmen: Corporación Empresarial Altra S.L.
- Hernández, Rafael: Universidad Camilo José Cela
- Jiménez Redondo, Noemí: CEMOSA
- Martín Pascual, Jaime: Universidad de Granada
- Martínez, Juan A.: Odin Solutions
- Martínez Segarra, María Luisa: Hexagon España
- Montalbán, Beatriz: Universidad de Extremadura
- Nebot Gómez de Salazar, Nuria: Universidad de Málaga
- Núñez, Pedro: Universidad de Extremadura
- Ondiviela, José A.: Universidad Francisco Vitoria. Microsoft
- Ortiz, J. Arturo: Riversa
- Peña Suárez, José Miguel: Corporación Empresarial Altra S.L.
- Peralta Escalante, Juan Jacobo: CEMOSA
- Reyes, Raymari: Universidad de Pinar del Río
- Salvo Tierra, Ángel Enrique: Universidad de Málaga
- Sánchez, Agustín: Universidad de Extremadura
- Sánchez, Alexander: Unión de Informáticos de Cuba
- Skarmeta, Antonio: Universidad de Murcia

- Turrado, Elena: Universidad Camilo José Cela
- Ventura, Montserrat: Corporación Empresarial Altra S.L.
- Vías Martínez, Jesús: Universidad de Málaga
- Zamorano Toro, Montserrat: Universidad de Granada



Noemi Jiménez Redondo  
Gloria Calleja Rodríguez  
Juan Jacobo Peralta Escalante  
CEMOSA.

***eTEACHER -TECNOLOGÍAS PARA  
MOTIVAR EL CAMBIO DE  
COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO  
PARA LA MEJORA DE LA  
EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS  
EDIFICIOS***

## **Resumen**

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar una solución basada en tecnologías de la información y de la comunicación que aproveche el potencial de ahorro de energía relacionado con el cambio de comportamiento de los usuarios de los edificios y que los estudios estiman entre el 5-30%. Las tecnologías propuestas pretenden estimular, capacitar y guiar a los usuarios para que hagan un uso energético más eficiente de las instalaciones y del edificio. Por ejemplo, informar al responsable de mantenimiento de que una instalación está por debajo de su rendimiento, motivar a los usuarios a hacer un aprovechamiento de la luz natural, corregir comportamientos erróneos comunes como abrir las ventanas cuando los sistemas de climatización o calefacción están encendidos, etc. Para ello, se ha seguido una metodología que consta de los siguientes pasos: 1) Revisión del estado del arte y análisis de carencias, 2) Diseño del concepto y definición de requisitos funcionales, 3) Evaluación de expertos, 4) Desarrollo de las tecnologías, 5) Probar y evaluar las tecnologías en edificios reales. El trabajo que se presenta en esta comunicación es parte de un proyecto de 3 años que se encuentra en fase de desarrollo. Por esta razón, la validación de las tecnologías forma parte de las líneas futuras y los ahorros energéticos aportados son estimaciones basadas en estudios previos.

Los resultados propuestos son una serie de tecnologías que llevan a cabo intervenciones para el cambio de comportamiento basadas en la visibilidad, alfabetización y gamificación del uso de la energía. La visibilidad del uso de la energía consiste en mostrar datos relacionados con el consumo de energía para que los usuarios sean conscientes de las consecuencias de sus comportamientos. La alfabetización consiste en incrementar el conocimiento para que comprendan el uso de la energía. La gamificación consiste en estimular a los usuarios mediante elementos propios de juegos aplicados al uso de la energía. Las tecnologías que aplican estas intervenciones son un conjunto de herramientas para el edificio y para los usuarios que recopilan información de los edificios (temperaturas, consumos, etc.) y de los usuarios (presencia, sensación de confort, etc.), llevan a cabo una serie de procesamientos de datos, análisis (análisis what-if) y cálculos de bajo coste computacional para identificar funcionamientos deficientes de los edificios y de las instalaciones; medidas de ahorro de energía basadas en el comportamiento de los usuarios, y mejoras para la calidad del aire interior. Los resultados de los análisis y procesamientos de datos se proponen de forma atractiva (por ejemplo, como consejos personalizados o como misiones) a los usuarios de los edificios en aplicaciones móviles o de escritorio.

Una de las principales conclusiones del análisis del estado del arte es que el fallo más frecuente de las intervenciones para cambiar el comportamiento basadas en soluciones tecnológicas es no consultar, formar y apoyar a los usuarios durante el cambio tecnológico lo que conduce a resultados por debajo de lo esperado. Como consecuencia, se propone hacer un diseño orientado al usuario que involucra a los mismos en la fase de diseño,

implementación y puesta en marcha y que implica llevar a cabo estudios sociales del comportamiento de los usuarios, reuniones de consultas a los mismos y formación.

**Palabras clave:** *medidas de ahorro de energía; usuarios edificios, formación y motivación; tecnologías de la información y comunicación; intervenciones para cambio de comportamiento; diseño orientado al usuario*

## Resumen en Inglés

The objective of this work is to develop a solution based on information and communication technologies that takes advantage of the energy saving potential existing in the behavioural change of building users which is estimated to be about 5-30% according to studies. The proposed technologies aim at encouraging, empowering and guiding users to use buildings and facilities more efficiently in terms of energy consumption. For example, these technologies inform facility managers about malfunctions of facilities, encourage users to take advantage of daylight, correct wrong but common behaviours such as open windows when heating is working. For that purpose, following methodology has been used: 1) Literature review and gaps analysis, 2) Concept design and functional requirements, 3) Experts evaluation and feedback, 4) Development of technologies and 5) Test and validation of technologies. The work presented in this paper is part of a 3 years project which is currently in the developing phase. Therefore, the test and validation of the technologies is part of the future work and the energy savings are estimations based on existing studies.

The proposed results are a set of technologies that carry out behavioural change interventions based on energy visibility, literacy and gamification. Energy visibility consists of showing data related to energy consumption, so users are aware of the consequence of their behaviour. Energy literacy consists of improving the knowledge to understand better energy use. Energy gamification consists of using elements common in games to encourage users. The technologies that deploy the interventions are a set of tools for buildings and users which collect information from the building (temperatures, energy consumption, etc.) and from the users (comfort feedback, occupation, etc.). After that, the tools carry out data processing, analysis and cost-effective calculations to identify facilities malfunctions, energy conservation measures based on behavioural change and improvement for indoor environmental quality. The analysis outputs are proposed to the users in an attractive way such as tailored advice or missions through applications for smartphones and dashboards.

One of the main findings of the gap analysis is the common failure when technological interventions on behavioural change are done to not consult, train and support users regarding technological changes leading to poor performance in practices. Consequently, an user-oriented design is proposed where they are involved in the design, implementation and commissioning phases for social studies that identify relevant behavioural issues as well as for consulting and trainings.

**Keywords:** *energy conservation measures; building users, training and encouragement; information and communication technologies; behavioural change interventions, user oriented design*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles en la edificación.*

## 1. Introducción

El cambio en el comportamiento de los usuarios de los edificios tiene un potencial de ahorro de energía entre un 5 y un 30% según (European Environment Agency, 2013) (Pothitou, 2014) (Tianzhen Hong, 2016). Actualmente, estos cambios de comportamiento pueden motivarse a través de soluciones tecnológicas que involucren activamente al usuario mediante información en tiempo real del uso del edificio, recomendaciones de mejora y la recopilación de la opinión del usuario final sobre su percepción del confort y de la calidad del aire interior, entre otras. Aunque ya existen algunas herramientas en esta línea, la mayoría de estas soluciones presentan el problema de no tener suficientemente en cuenta a los usuarios, lo que conlleva un uso deficiente de las herramientas y resultados por debajo de los previstos, como, por ejemplo, ahorros energéticos más bajos. El trabajo que se presenta aquí pretende abordar ese problema involucrando y consultando a los usuarios desde la fase de diseño de las soluciones tecnológicas, así como proporcionar formación y soporte para motivar a los usuarios y facilitar la adaptación al cambio que garantice el uso correcto de dichas soluciones. Por tanto, se ha considerado que cualquier estrategia y solución que se aplique para promover un cambio de comportamiento debe ir acompañado de un plan que entrene a los usuarios en estas prácticas y les informe de los beneficios de llevar a cabo las recomendaciones que se le ofrecen, ya que de otro modo los resultados no serán los esperados.

En este contexto, el proyecto eTEACHER (proyecto H2020 núm. 768738) tiene el objetivo de **crear una herramienta con tecnologías de la comunicación, información, automatización y control para motivar el cambio de comportamiento energético en los usuarios de los edificios**, los cuales llevarán a cabo intervenciones específicas (según su perfil de usuario y sus posibilidades) que conlleven según estimaciones un ahorro energético significativo, una mejor productividad y mayores niveles de confort.

Para ello, la mejor herramienta de comunicación e interacción con el usuario son las **aplicaciones móviles** (teléfonos móviles, ordenadores portátiles, *tablets*...) ya que el uso y la consulta de estos es cada vez más frecuente en la población. En España el uso de aplicaciones móviles alcanza los 64,35 minutos diarios (Olivero, 2018). Estas aplicaciones, a través de soluciones de interoperabilidad, se conectarán a los sistemas de control y gestión energética del edificio (BACS/BEMS) para obtener información necesaria para generar recomendaciones sobre actividades y acciones que el usuario pueda ejecutar para mejorar o preservar los niveles de eficiencia energética del edificio.

Por otro lado, para mantener la motivación del usuario en cuanto a la ejecución de las recomendaciones generadas, resulta necesario diseñar e integrar técnicas de “gamificación” que motiven e involucren al usuario de forma que integre las propuestas de mejora en sus hábitos diarios. El uso de estas técnicas requiere un análisis social y cultural de los usuarios que se debe realizar previamente y durante la etapa de diseño para aumentar el éxito y la aceptación del usuario final.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es desarrollar una solución TIC (tecnologías de información y comunicación) para aprovechar el potencial de ahorro relacionado con el comportamiento de los ocupantes que se estima entre 5-30% según los estudios existentes.

El cambio de comportamiento perseguido se centra en modificar el uso que los ocupantes, propietarios o personal de mantenimiento hacen de los edificios y de sus instalaciones de manera que repercuta en un ahorro energético y en una mejora de la calidad del ambiente interior.

Concretamente, los cambios de comportamiento que son objetivos de este trabajo son:

- Uso optimizado de la iluminación: apagar la iluminación cuando no se usan las habitaciones o al final de sus periodos de uso, comprobar los niveles de iluminación y aprovechar la luz natural.
- Uso optimizado de los equipos eléctricos: no dejar los equipos en suspensión por las noches, apagar los ordenadores cuando no se van a usar durante un tiempo prolongado, apagar la televisión al final del día o de su uso, modificar la configuración de los equipos a modo ahorro, apagar los equipos médicos cuando sea posible, etc.
- Optimización de los comportamientos relacionados con los equipos de climatización y el confort: reducir o aumentar las consignas de temperatura de los equipos de calefacción y refrigeración respectivamente, gestionar la temperatura con la vestimenta en lugar de usar equipos de climatización adicionales, asegurar que los equipos de frío y calor no funcionen simultáneamente, usar sistemas de climatización más eficientes, etc.

Los beneficios que se persiguen con estos cambios de comportamiento son:

- Ahorro en el consumo de refrigeración mediante un control mejorado del sistema de climatización por parte de los usuarios del edificio, las ventanas y los sistemas de sombreado. Los sistemas de refrigeración son del tipo de climatizadoras, enfriadoras, fan-coils (ventilo-convectores) y bombas de calor.
- Ahorro en el consumo de calefacción mejorando el uso del sistema de calefacción, las ventanas y las persianas. Los sistemas de calefacción sobre los que se pretende actuar son principalmente calderas, radiadores, fan-coils y bombas de calor.
- Ahorro en el consumo de iluminación. Por ejemplo, con el apagado de las luminarias cuando hay suficiente luz natural.
- Ahorro en el consumo de electricidad optimizando el uso de los equipos eléctricos. Los principales equipos eléctricos son ordenadores, impresoras, televisiones, equipos médicos, electrodomésticos, etc.
- Reducción de pérdidas energéticas mediante la identificación y corrección de funcionamientos deficientes de las instalaciones del edificio.
- Mejora del bienestar y la productividad de los usuarios de los edificios mediante el asesoramiento adecuado respecto al confort y la calidad del ambiente interior.

Cabe destacar que el proyecto eTEACHER se encuentra en fase de desarrollo con lo que en este trabajo no se pueden dar datos de ahorros de energía reales, sólo estimaciones en base a estudios previos.

### **3. Metodología**

La metodología que se ha utilizado en este trabajo es la siguiente. Primero, se ha llevado a cabo una revisión de la literatura y del estado del arte para identificar las carencias tecnológicas y metodológicas existentes. El análisis de carencias es un proceso que se usa habitualmente para identificar qué pasos deben ser los siguientes para avanzar desde el estado actual hasta el estado futuro deseado. Para ello, se han identificado las características que tienen las tecnologías actuales, se han identificado las características que se necesitan para cumplir con los objetivos propuestos y se han determinado las carencias o limitaciones existentes que hay que abordar para cumplir con los objetivos.

A partir de las conclusiones del análisis de carencias, se ha hecho un diseño conceptual y se han definido los requisitos funcionales de las tecnologías a desarrollar. El diseño

conceptual se ha presentado a un grupo de expertos para su valoración. El grupo de expertos está integrado por investigadores sociales, ingenieros especializados en control y automatización de edificios, empresas de servicios energéticos, asesores políticos y empresas desarrolladoras de software. Las evaluaciones de los expertos se han integrado en el desarrollo de las tecnologías para cambiar el comportamiento.

Finalmente, las tecnologías y metodologías planteadas se van a probar en 12 edificios reales para evaluar los beneficios aportados por dichas soluciones.

Los resultados que se presentan en esta comunicación forman parte de un proyecto de 3 años que actualmente se encuentra en la fase de desarrollo. Por esta razón, la validación de las tecnologías, que es el último paso de la metodología, no se ha comenzado y forma parte de las líneas futuras.



**Figura 1: Metodología**

### **3. Estado del arte y limitaciones**

En el marco del objeto del presente estudio, el análisis del estado del arte se centra en las técnicas y metodologías que motivan el cambio de comportamiento del usuario y las tecnologías de monitorización y control de sistemas energéticos de edificios que incluyen análisis avanzado para el cálculo de ahorro energético y calidad del ambiente interior.

En relación con el cambio de comportamiento energético de los usuarios, normalmente es realizado mediante auditorías energéticas con expertos. Sin embargo, de forma alternativa, se pueden emplear herramientas TIC que recopilen la información de los usuarios sobre su consumo energético, siendo la forma más económica de actuación y que además permite acceder a un número mayor de usuarios. La combinación de ambas estrategias (auditorías y tecnologías de la comunicación) permite mejorar la efectividad de las intervenciones de eficiencia energética. Los sistemas TIC para el cambio de comportamiento se clasifican según el tipo de respuesta de los usuarios.

De respuesta directa a partir de sensores, pantallas, etc. permiten obtener ahorros en torno a 5-15%. De acuerdo con (Darby, 2006) estos sistemas son más efectivos para grandes consumidores ya que la respuesta directa facilita el aprendizaje directo a través de la interacción con los dispositivos y los ahorros económicos que se suceden a dichas acciones.

De respuesta indirecta (a través de información preliminar como facturas energéticas)

permiten obtener ahorros hasta del 10%, aunque varía según el contexto. El análisis de información histórica de consumos es más efectivo que la realización de comparativas entre usuarios con perfiles energéticos parecidos, como usuarios domésticos (IDAE - Departamento de Planificación y Estudios, 2011), y las conclusiones derivadas del procesamiento de dichos datos permiten que el usuario final reflexione y aprenda sobre el comportamiento más adecuado para ahorrar energía (Darby, 2006).

En resumen, los métodos de respuesta directa son muy efectivos, especialmente para cambiar el comportamiento diario. A su vez, los de respuesta indirecta son más adecuados para el largo plazo y permiten evaluar y promover inversiones adicionales para la mejora de la eficiencia energética. Y en general, ambos son valorables como herramientas de aprendizaje y pueden ser considerados en el contexto del proyecto. Sin embargo, como limitación general detectada, el diseño de este tipo de iniciativas no suele involucrar a todas las partes interesadas y en ocasiones no consiguen los resultados esperados. Además, en el caso de diseñar herramientas de recomendación, es necesario la correcta motivación del usuario final y tener en cuenta las limitaciones técnicas de su entorno.

En relación con las tecnologías de monitorización y control de los sistemas energéticos de los edificios que incluyen análisis avanzados de eficiencia energética y calidad del ambiente interior, aunque existen numerosas herramientas en el mercado que muestran el uso de la energía, pocas veces dan la opción de detectar el uso inadecuado de la misma y, por tanto, de influir en las decisiones del usuario final (Frost&Sullivan, 2012). En su lugar, estas herramientas normalmente visualizan la energía de varias formas con gráficos que muestran la proporción y la racionalización de usos. Se ha detectado, por tanto, la necesidad de desarrollar tecnologías de monitorización y control con mayor inteligencia a las existentes que sean capaces de proporcionar información más específica y clara a los usuarios sobre los efectos de sus comportamientos en los consumos de energía, así como consejos sobre el uso eficiente de la energía en los edificios.

En esta línea, los sistemas de climatización son los que muestran las mejores oportunidades para ahorrar energía mediante el ajuste de los puntos de control y los horarios, y además ofrecen otros factores y parámetros relevantes (temperaturas, presiones, estados...) a través de los sistemas de monitorización y control que existen hoy en día. Por tanto, la transformación de la información disponible en estos sistemas en indicadores que reflejen el rendimiento del edificio es en principio factible.

Una limitación que existe en las soluciones actuales de control y automatización en edificios es que hay muchos protocolos de comunicación (BACnet, EnOcean, etc.) y no existe un único estándar que permita integrar todos los dispositivos. Por tanto, cualquier solución que se desarrolle debe ser interoperable con todos los componentes de los sistemas de control y automatización de los edificios.

## **4. Resultados**

### **4.1 Intervenciones para el cambio de comportamiento energético**

En general, el término intervención hace referencia a las actividades diseñadas para cambiar patrones de comportamientos específicos y pueden basarse en:

- La educación: enriqueciendo los conocimientos y el entendimiento de ciertas materias.
- La coacción: concienciando en la repercusión que ciertos comportamientos tienen en un incremento de los costes.
- La persuasión: usando la comunicación para inducir sentimientos positivos o negativos.

- La formación: impartiendo habilidades a partir de tutoriales.
- La capacitación: proporcionando herramientas para incrementar las capacidades y reducir las barreras.
- La incentivación: creando expectativas de recompensas.
- Los modelos: proporcionando ejemplos a los que aspirar o imitar.

En el caso de eTEACHER, las intervenciones para el cambio de comportamiento son ejecutadas principalmente por un conjunto de tecnologías y se centran en la visibilidad, alfabetización y gamificación del uso de la energía.

- La visibilidad del uso de la energía consiste en mostrar datos del consumo de energía y otra información relacionada con los usuarios para hacerlos conscientes de las consecuencias de sus comportamientos. Por ejemplo, mostrar el uso de energía en tiempo real en la pantalla de una habitación del edificio o mostrar una combinación de uso energía real e histórico traducido en euros. Para garantizar el éxito, las técnicas de visualización deben ser amigables y entendibles por el usuario al que se dirige.
- La alfabetización en el uso de la energía consiste en comprender el uso de la energía en nuestras vidas para hacer un uso sostenible de la misma. Es decir, aumentar los conocimientos respecto al uso de la energía para que se puedan tomar decisiones y ser conscientes del impacto y las consecuencias de nuestras acciones.
- La gamificación o ludificación del uso de la energía se puede definir como el uso de elementos típicos de juegos (puntos, premios, clasificaciones, etc.) y técnicas de diseño de juegos en contextos que no son juegos. En el caso de eTEACHER, la gamificación está basada principalmente en misiones. Por ejemplo, el objetivo es reducir un 10% tu consumo de energía esta semana.

Además, eTEACHER ha definido utiliza una serie de indicadores (KPI – *Key Performance Indicators*) para cuantificar los comportamientos y definir objetivos a los usuarios, por ejemplo: el indicador de la calidad ambiental interior o el indicador del comportamiento energético de las instalaciones.

#### 4.2 Tecnologías para el cambio de comportamiento energético

Las herramientas de eTEACHER son un conjunto de soluciones TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) que motivan y hacen posible el cambio de comportamiento y proporcionan una conexión sencilla del usuario con el edificio y sus instalaciones, llevan a cabo intervenciones continuas para cambiar el comportamiento y proporcionan consejos específicos (a medida de cada usuario) para un uso eficiente de la energía.

Se pueden clasificar en dos tipos de herramientas: herramientas para el edificio y aplicación para los usuarios (Figura 2).

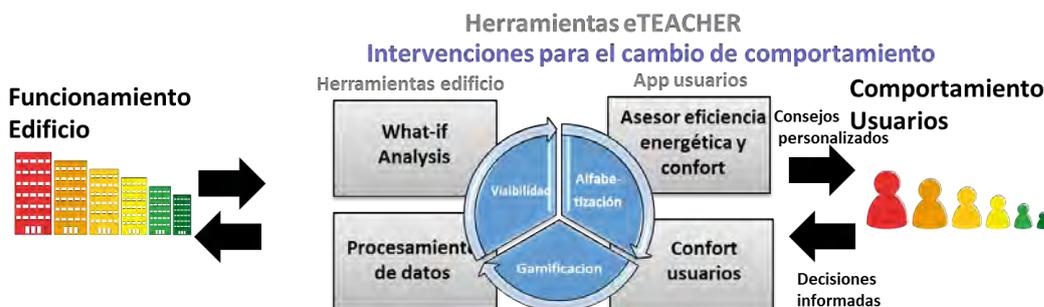


Figura 2: Tecnologías eTEACHER. Concepto

Las herramientas desarrolladas para este propósito en el edificio son las siguientes:

- **Interfaz de comunicación** que conecta la plataforma eTEACHER con el sistema de control o de monitorización del edificio. Funciona como *middleware* (software que permite la comunicación entre diferentes sistemas de información y se sitúa entre el sistema operativo y las aplicaciones) que recopila, gestiona y almacena las mediciones de los sensores y medidores inteligentes directamente o a través del sistema de control.
- **Procesamiento de datos** para análisis del funcionamiento del sistema y de la calidad del aire. Esta herramienta utiliza los datos monitorizados del edificio y los usuarios para analizar medidas y parámetros relevantes que permitan identificar fallos o funcionamientos deficientes de las instalaciones, así como problemas con la calidad del aire interior.
- **Análisis What-if (WiA):** la función de esta herramienta es identificar posibles medidas de ahorros basadas en el cambio de comportamiento de los usuarios para aumentar la eficiencia energética sin comprometer la calidad del aire interior (por ejemplo, modificar las consignas de temperatura o el uso de los equipos eléctricos). El WiA lleva a cabo cálculos automáticos de bajo coste computacional que permiten estimar ahorros de energía, mejoras de confort y ahorros económicos con el fin de proporcionar argumentos realistas que motiven a los usuarios. La herramienta utiliza tanto datos estáticos referentes a las características de diseño del edificio y de sus instalaciones, como datos dinámicos procedentes del sistema de monitorización o control del edificio. Cabe destacar que dicha herramienta está adaptada para trabajar e integrar directamente el modelo del edificio en BIM, de cara a facilitar su despliegue en el futuro.
- **La Aplicación de los usuarios (app)** incluye una versión de escritorio y de móvil (Android/iOS). Se trata de un asesor virtual que tiene como objetivo motivar un cambio de comportamiento en los usuarios proponiendo medidas de ahorros y consejos personalizados de forma atractiva. Para ello, la app no sólo visualiza consumos de energía, sino que también utiliza notificaciones y misiones para motivar a los usuarios. Las notificaciones contienen consejos personalizados para ahorrar energía, por ejemplo: si apagas las luces y aprovechas la luz natural por la mañana puedes ahorrar un 5% de la factura de la luz. Las misiones se pueden ver como consejos gamificados, por ejemplo: reduce un 5% tu consumo de energía esta semana. Además de proporcionar consejos, la app recopila las opiniones de los usuarios sobre el confort y la calidad del aire.

**El funcionamiento y el flujo de información del sistema es el siguiente.** La interfaz de comunicación recopila y almacena datos del sistema de monitorización o control del edificio tanto a nivel de edificio como a nivel de sala o habitación (temperatura, humedad, nivel de CO<sub>2</sub>, consumo de iluminación, calefacción, refrigeración y equipos, apertura de ventanas, presencia, nivel de iluminación, etc.). Esta información es recopilada y analizada por el WiA y por el módulo de procesamiento de datos. Los resultados del WiA (por ejemplo, las medidas de ahorro identificadas) y del procesamiento de datos (por ejemplo, índice de eficiencia energética) se envían a la app de los usuarios que se encarga de gamificar los resultados y de exponerlos a los usuarios en forma de notificaciones y misiones.

### **3.4 Diseño orientado al usuario, formación y soporte para garantizar el éxito**

Con el fin de hacer un diseño de las tecnologías orientado a los usuarios y asegurar el éxito y aceptación de este, los usuarios de los edificios y de las nuevas tecnologías son involucrados en las fases de diseño, implementación y puesta en marcha.

- Fase de **diseño**: El proyecto tiene una primera fase previa a la implementación de las

tecnologías en la que se llevan a cabo estudios sociales con el objetivo de identificar aspectos claves para el cambio de comportamiento, analizar y caracterizar los comportamientos de los usuarios de los edificios y definir preferencias de los usuarios respecto a las tecnologías a desarrollar. Estos estudios sociales están basados en talleres con los usuarios de los edificios, entrevistas y encuestas. Los resultados de los estudios sociales se traducen en especificaciones y recomendaciones para las tecnologías y herramientas a desarrollar.

- Fase de **implementación**: en esta fase se involucran a los usuarios de las herramientas y edificios como consultores. De esta manera, se hacen reuniones periódicas en las que se presentan los desarrollos de las herramientas y se recogen las opiniones de los usuarios. Las conclusiones de estas reuniones se integran en el desarrollo de las tecnologías.
- Fase de **puesta en marcha**: en esta última fase es muy importante dar formación a los usuarios de las tecnologías para evitar rechazos al cambio y asegurar una adaptación sencilla y amigable a las nuevas tecnologías.

## CONCLUSIONES

Con la solución propuesta se espera observar ahorros comprendidos entre un 6 y un 10% en el consumo de energía (iluminación, climatización y otros equipos eléctricos) en 12 edificios reales que incluyen colegios, centros de salud, oficinas y edificios residenciales. Como ya se ha comentado anteriormente, el proyecto está en desarrollo con lo que los ahorros de energía son estimaciones basadas en estudios anteriores (Dahlbom, Greer, Egmond, & Jonkers, 2009), (European Environment Agency, 2013), (Tianzhen Hong, 2016), (Pothitou, 2014). Concretamente, de los 5204 usuarios que hay en los 12 edificios reales, esperamos involucrar entre el 60 y el 100% de los usuarios (5204-3206 usuarios) y cambiar entre 1500 y 952 usuarios ya que estudios anteriores indican que la aceptación de este tipo de intervenciones y tecnologías está entre el 15-30%. Si se tiene en cuenta que el potencial de ahorro por el cambio de comportamiento es de hasta el 30% según las fuentes encontradas si cambiáramos al 100% de los usuarios y que en este caso vamos a cambiar entre un 20-30%, estimamos que los ahorros serán entre 6 y 10% del consumo de energía.

Para conseguir estos ahorros de energía, en este trabajo se propone:

- Aprovechar el potencial de ahorro de energía identificado en el cambio de comportamiento de los usuarios de edificios (5-30%). En este aspecto es muy relevante conocer el comportamiento energético de los usuarios y los sistemas energéticos con los que interactúan para identificar el potencial de ahorro. Para ello, es recomendable llevar a cabo entrevistas personales e implicar al usuario en todo el proceso de desarrollo y despliegue de las soluciones.
- Llevar a cabo intervenciones para el cambio de comportamiento basadas en la visibilidad, la alfabetización y la gamificación del uso de la energía mediante tecnologías de la información y comunicación. La caracterización del usuario respecto a su comportamiento, sus motivaciones y su relación con las tecnologías de la comunicación determina el tipo de herramientas que pueden ser utilizadas para cambiar el comportamiento del usuario.
- Garantizar el éxito de las nuevas tecnologías involucrando a los usuarios en las fases de diseño, implementación y puesta en marcha.
- Desarrollar una plataforma que permita alcanzar estos objetivos con diferentes herramientas informáticas, de forma que sea asequible y rentable tanto para edificios sin sistemas de gestión energético como para aquellos con sistemas modernos, de forma

que en estos últimos se garantice su interoperabilidad con los protocolos estándares en el mercado.

- Diseñar los experimentos necesarios para probar y evaluar las tecnologías desarrolladas en edificios reales para detectar el efecto que tienen los cambios de comportamiento en los ahorros energéticos.

Las líneas futuras que se proponen en este trabajo son:

- Desplegar las tecnologías de eTEACHER en edificios reales localizados en diferentes países europeos entre los cuales se encuentran diferentes tipologías: centros de salud, centros educativos, edificios públicos y privados, edificio de oficinas y edificios residenciales.
- Evaluar los beneficios de las tecnologías desarrolladas en cuando al cambio de comportamiento.

## AGRADECIMIENTOS

El proyecto eTEACHER recibe fondos provenientes de la Unión Europea, a través del Programa de Investigación e Innovación HORIZONTE 2020, amparado en el acuerdo de Subvención nº768738.

## REFERENCIAS

- Dahlbom, B., Greer, H., Egmond, C., & Jonkers, R. (2009). *Changing Energy Behaviour Guidelines for Behavioural Change Programmes*. Madrid: IDAE.
- Darby, S. (2006). *The Effectiveness of feedback on energy consumption*. Oxford: Environmental Change institute, University Oxford.
- European Environment Agency. (2013). *Achieving energy efficiency through behaviour change: what does it take?* Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Frost&Sullivan. (2012). *European Home Automation Market*.
- IDAE - Departamento de Planificación y Estudios. (2011). *Análisis del consumo energético del sector residencial en España*. Madrid: Proyecto SECH-SPAHOUSEC.
- Olivero, E. (23 de Julio de 2018). PICKASO. Obtenido de <https://pickaso.com/2018/uso-apps-espana-y-mundo-2018>
- Pothitou, M. &. (2014). A framework for targeting household energy savings through habitual behavioural change. *International Journal of Sustainable Energy*.
- Tianzhen Hong, S. C.-L. (2016). Advances in research and applications of energy-related occupant behavior in buildings. *Energy and Buildings*, 694-702.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Gloria Calleja Rodríguez  
Teléfono: +34 952 230 842  
E-mail: [gloria.calleja@cemosa.es](mailto:gloria.calleja@cemosa.es)

## Cesión de derechos

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



María Luisa Martínez Segarra  
*Hexagon España*  
Antonio Bueno Granadino  
*Ayuntamiento de Motril*

***PORTAL WEB PARA EL  
SEGUIMIENTO DE LA EFICIENCIA  
ENERGÉTICA EN EL SECTOR  
RESIDENCIAL***

### **Resumen**

El Portal Web para el Seguimiento de la Eficiencia Energética en el Sector Residencial es un portal que permite a los gestores municipales conocer los consumos energéticos reales del sector residencial objeto de su competencia sin necesidad de monitorizar.

El Portal Web proporciona un cuadro de mando analítico y segmentado para que los gestores municipales tengan información que les permita llevar a cabo una clasificación real energética de las viviendas y/o barrios y así definir políticas de rehabilitación energéticas acorde con la realidad.

Todo ello indicado para cumplir con la directiva 2018/844 del Parlamento Europeo relativa a la eficiencia energética de los edificios publicada en junio de 2018.

El modelo se alimenta con información y datos (no sensibles) provenientes de fuentes de información gestionadas por las entidades suministradoras de energía (electricidad y gas) y de agua y de los organismos oficiales responsables del callejero, empadronamiento y características constructivas de las viviendas (catastro).

Los resultados de este modelo se presentan en el Portal Web para el Seguimiento de la Eficiencia Energética en el Sector Residencial se presentan con una Aplicación Web de Mapa Inteligente en que permite analizar los resultados de forma fácil y efectiva.

Los técnicos, políticos o gestores urbanos, tienen a su disposición un instrumento que ofrece una radiografía territorializada de la ciudad, pudiendo formular estrategias globales o tejer propuestas en áreas concretas según los resultados obtenidos y establecer políticas y estrategias de impulso a la rehabilitación preferente en el sector residencial y por tanto luchar contra el cambio climático.

### **Abstract**

Web Portal for the Monitoring of Energy Efficiency in the Residential Sector is a portal that allows municipal managers know the actual energy consumption of the residential sector under its jurisdiction without monitor

The Web Portal provides analytics tools to municipal managers with information to enable then to carry out a real energy rating of households and/or neighborhoods and define rehabilitation policies according real data.

This methodology lets the councils to comply with Directive 2018/844 of the European Parliament and of the Council on the energy efficiency of buildings

The model is fed with no sensitive data from information sources managed by electricity, gas and water supply entities and the official organism responsible for the street, census and cadaster.

The results of this methodology can be presented not only with a desktop software but also with a Smart Map web application that allows analyzing the results easily and effectively.

Technicians, politicians or urban managers have at their disposal an instrument that offers a territorialized radiography of the city, being able to formulate global strategies or weave proposals in specific areas according to the results obtained and establish policies and strategies to promote preferential rehabilitation in the residential sector and therefore fight against climate change.

**Palabras clave:** *eficiencia energética; directiva europea; consumos energéticos;*

**Área temática:** *Ciclo de vida de la ciudad y sus construcciones*

## 1. Introducción

En junio de 2018 fue publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea la Directiva (UE) 2018/844, que modifica las Directivas 2010/31/UE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, y la 2012/27/UE, relativa a la eficiencia energética.

El objetivo principal de esta nueva Directiva es acelerar la renovación rentable de los edificios existentes, más específicamente, introduce sistemas de control y automatización de edificios como alternativa a las inspecciones físicas, fomenta el despliegue de la infraestructura necesaria para e-mobility, e introduce un indicador de inteligencia para evaluar la preparación tecnológica del edificio.

Esta actualización de la EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) fortalecerá los vínculos entre la financiación pública para la renovación de edificios y los certificados de rendimiento energético e incentivará la lucha contra la pobreza energética mediante la renovación de edificios.

En esta línea se enmarca el Portal web para el seguimiento de la Eficiencia Energética, al proporcionar en su concepción una metodología que permite la toma de decisiones en cuanto a rehabilitación de edificios y políticas sociales sobre datos de consumo reales

La UE refuerza el compromiso y obligatoriedad de construir edificios de energía casi nula en diciembre de 2020, edificios públicos en 2018 (Directiva Europea 2010/31/UE) y en este sentido, la UE, debe resolver dos grandes retos:

¿Cómo evaluar la eficiencia del consumo energético de nuestras ciudades?

¿Cómo orientar las políticas para mejorar el uso de la energía en el sector residencial?

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) refleja que una parte muy importante del consumo energético proviene del sector residencial (Spahousec IDAE 2010-2011). Concretamente los hogares españoles consumen el 17% de toda la energía final y el 25% de la electricidad. A este hecho se une que, España es un país con un parque residencial obsoleto en cuanto a calidad constructiva y eficiencia energética se refiere.

En España, el 54% de las viviendas (14M) se construyeron hace más de 35 años, antes de la Norma Básica de la Edificación (NBE) de 1979 y sólo el 7% de las viviendas se han construido bajo las condiciones del Código Técnico CTE (2007) Además, la cuota de vivienda rehabilitada es del 4%, 15 puntos por debajo de la media europea. ((Instituto Nacional de Estadística 2015).

Se puede afirmar que la mayoría de las viviendas no cumplen con ninguna regulación sobre eficiencia energética. Esta situación debe ser cambiada impulsando el uso de las energías renovables en el sector residencial con políticas de rehabilitación que favorezcan el ahorro energético y minimicen la pobreza energética.

El principal objetivo de los planes de rehabilitación energética ha estado orientado a reducir el consumo de energía, pero ese objetivo sólo tendrá éxito si se trabaja para reducir las necesidades de energía con estrategias adecuadas de rehabilitación energética en el sector residencial.

Para poder acometer esas estrategias es necesario disponer de un conocimiento estadístico detallado sobre el consumo de energía en las viviendas mediante la puesta en valor de datos reales de consumo que ayude a los gestores energéticos municipales a tomar las decisiones adecuadas

Esta necesidad ya fue establecida en el artículo 9 del Reglamento (CE) n 1099/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre estadísticas de energía detalladas en los

estados miembros (Eurostat acomete proyectos SECH/SPAHOUSEC en España). A ello se une el Reglamento (UE) N.º 431/2014 sobre estadísticas energéticas, que obliga a disponer de información desagregada por usos en el sector residencial.

El Portal Web para el seguimiento de la Eficiencia Energética en el Sector Residencial ofrece una visión segregada, analítica y precisa que permite ver los datos de consumo por habitante y superficie, y pone a disposición del gestor una herramienta que le permita implementar políticas rehabilitadoras de ahorro energético en beneficio del medio ambiente y de los ciudadanos

## **2. Retos y fortalezas del portal de eficiencia energética**

Los principales retos a los que se enfrenta este Portal Web para el seguimiento de la Eficiencia Energética en el Sector residencial son:

Dispersión de datos para conocer el consumo individualizado de los edificios del parque residencial de una ciudad, los datos constructivos de catastro, número de habitantes, etc.

Falta de legislación que impulse la colaboración entre gestores municipales y empresas distribuidoras

No existencia de normas/estándar para la recopilación de datos de consumo energéticos y su aportación por las compañías suministradoras

Existencia de estudios y modelos de mapas energéticos basados en datos estadísticos y no en consumos reales

Escasa concienciación social en relación al consumo de energía

Este estudio y la posterior creación del Portal ayudaran a realizar un mejor análisis ya que implica la elaboración de mapas y cuadros de mando inteligentes sobre el consumo energético del sector residencial con las siguientes ventajas:

1. Utilización de consumos reales de cada edificio/vivienda del sector residencial pudiendo identificar modelos estadísticos de consumo que ayuden a priorizar las actuaciones de rehabilitación energética necesarias
2. Poder conocer a nivel municipal el consumo por metro cuadrado de viviendas y por habitante
3. Cumplir las estrategias de los Planes de Acción de Energías Sostenibles de la Unión Europea (Art. 194 Tratado Funcionamiento de la Unión Europea tfue)
4. Capacitar a los gestores de información real para la elaboración de planes de rehabilitación energética atendiendo a los mapas energéticos reales del municipio en un entorno amigable, flexible y útil.

Hasta ahora, los estudios energéticos se centran en estimaciones de variables concretas del ámbito de estudio y desarrollar propuestas sobre ellas. Este proyecto presenta como novedad más importante la capacidad de combinar diferentes variables que puedan afectar a la evaluación de eficiencia, como son datos de construcción, número de personas que habitan, tipología de la vivienda, etc. Tiene en cuenta la evolución de la eficiencia en los edificios en función del cambio de normativa que les afecta y mediante el portal se ofrece una visualización de datos en base a la cartografía, que permita planificar actuaciones en zonas concretas, así como una visualización

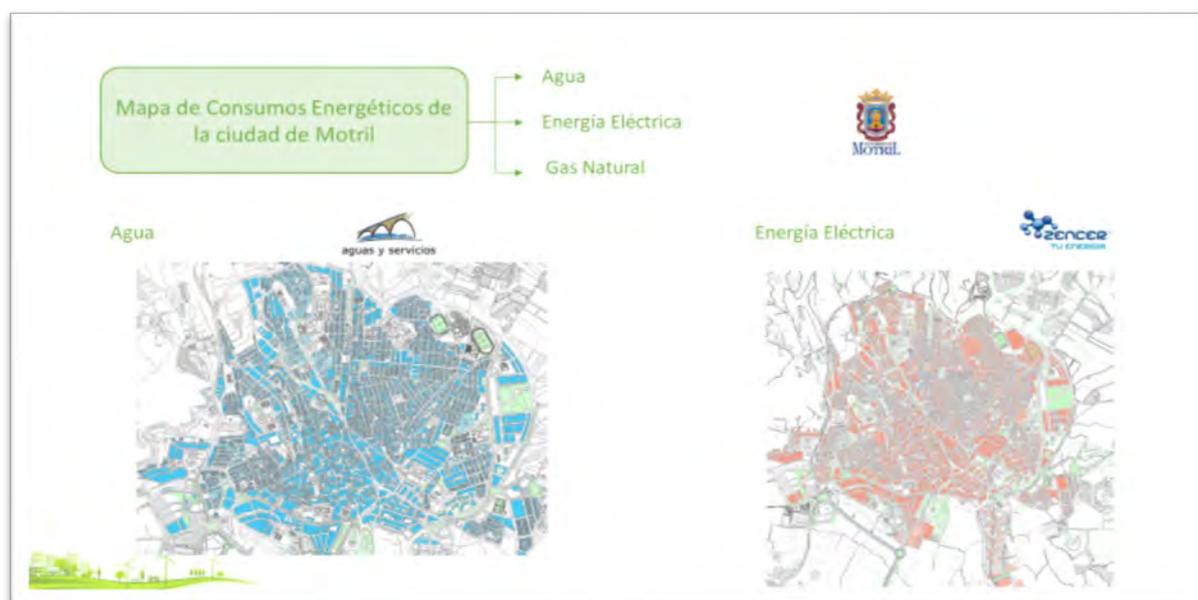
temática de acceso público, que sirva para aumentar la concienciación y proporcione herramientas eficaces para el gestor

### 3. Mapa de consumos energéticos en el ayuntamiento de motril

Como prototipo a exportar en otros ámbitos municipales, se muestran en esta ponencia los resultados del estudio de los Consumos Energéticos reales en el Ayuntamiento de Motril y se pone de manifiesto el valor de ese conocimiento para los gestores puesto que les proporciona la información necesaria para realizar exámenes económicos sobre implantación de energías renovables a nivel de ciudad.

Ese conocimiento real proporciona, por tanto, una ayuda fundamental en la toma de decisiones.

En la figura de abajo aparecen unos mapas temáticos estáticos de consumos en la ciudad de Motril, presentar estos resultados de una manera dinámica es el objetivo final del Portal Web.



**Figura 1: Mapa de consumos de la ciudad de Motril**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

Este estudio se pudo realizar con un Sistema de Información Geográfica actualizado al que se vinculan los datos catastrales y el padrón de habitantes, así como los consumos eléctricos a través de los contratos de tipología residencial.

La elección del software como Sistema de Información Geográfica fue GeoMedia de la empresa HExagon en su versión de escritorio por su alta versatilidad para agregar y adaptar fuentes de información tan diversas como las integradas en este estudio de la ciudad de Motril. Los resultados son expuestos en un Portal Web que permite realizar el Seguimiento de la Eficiencia Energética en el Sector Residencial de la ciudad de Motril y explotar y analizar los resultados del estudio de forma muy dinámica y ágil.

A continuación, referimos la metodología utilizada para el caso de la ciudad de Motril y su generalización a cualquier otra

#### **4. Metodología**

Como se ha puntualizado anteriormente el objetivo es el desarrollo de un modelo que dote a los gestores públicos municipales de una herramienta/plataforma que dé a conocer la situación energética real del sector residencial municipal facilitando el diseño de políticas de rehabilitación energética acordes sin necesidad de monitorizar consumos ni hacer cuestionarios.

Para conseguir dar respuesta a este reto se diseña una metodología de captación, estandarización y análisis de información para que los gestores municipales realicen el diagnóstico del consumo energético a partir de fuentes de información secundarias de suministradores energéticos de energía, gas y agua además de organismos oficiales sobre padrón, catastro, etc. El fin es el conocimiento del consumo energético real en las viviendas segmentándolo según características constructivas, habitantes, climatología, usos, etc.

La metodología establecida implica llevar a cabo las siguientes actuaciones:

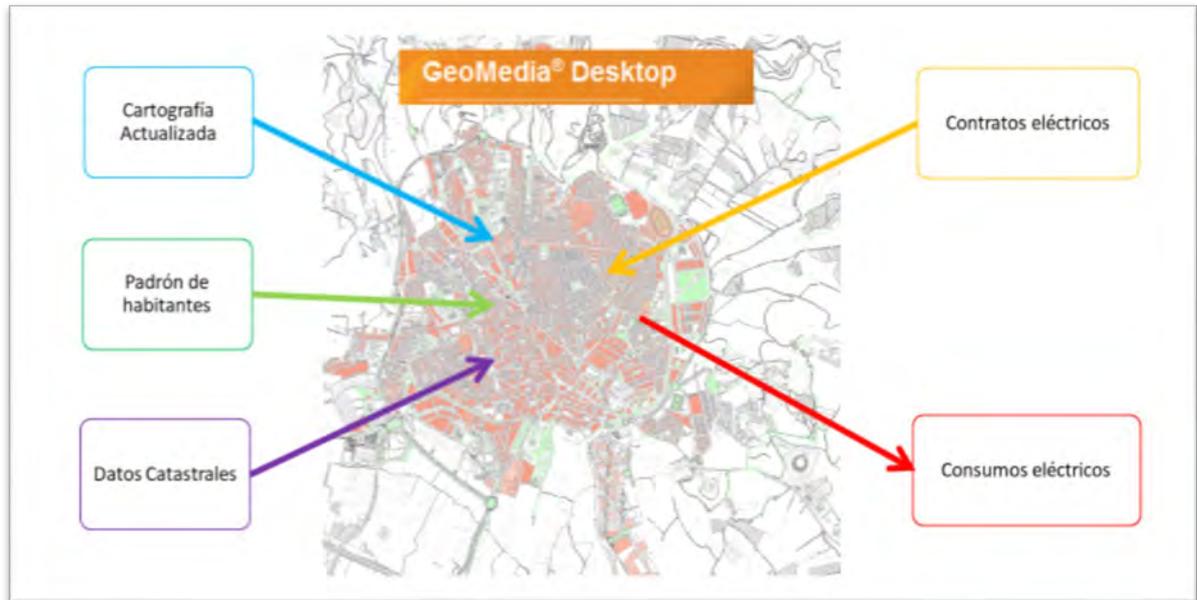
1. Definición de las fuentes de información objetivo y diagnóstico de la estructura de los datos en origen
2. Filtrado y depuración de los datos aportados, definiendo el modo y formato de presentación/agregación: modelos de estandarización de datos
3. Creación de una Base de Datos Relacional en un Sistema de Información Geográfica
4. Implementación de una plataforma que integre los modelos Cartográfico y relacional para su análisis
5. Definición de políticas según clasificación y priorización de zonas de intervención

#### **5. Definición de fuentes de información y su estructura**

Definición de las fuentes de información objetivo y diagnóstico de la estructura de los datos en origen

Se trata de identificar y analizar las fuentes de información objetivo que básicamente son: catastro, padrón de habitantes, consumos energéticos y normas de edificación

En la figura de abajo las fuentes de información con los que se ha realizado el estudio para el Ayuntamiento de Motril



**Figura 2: Fuentes Información de GeoMedia**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

La unidad de referencia en catastro, la parcela catastral, nos permitirá además realizar una diferencia en el Parque Residencial de viviendas construidas con estos tres supuestos de normas de edificación:

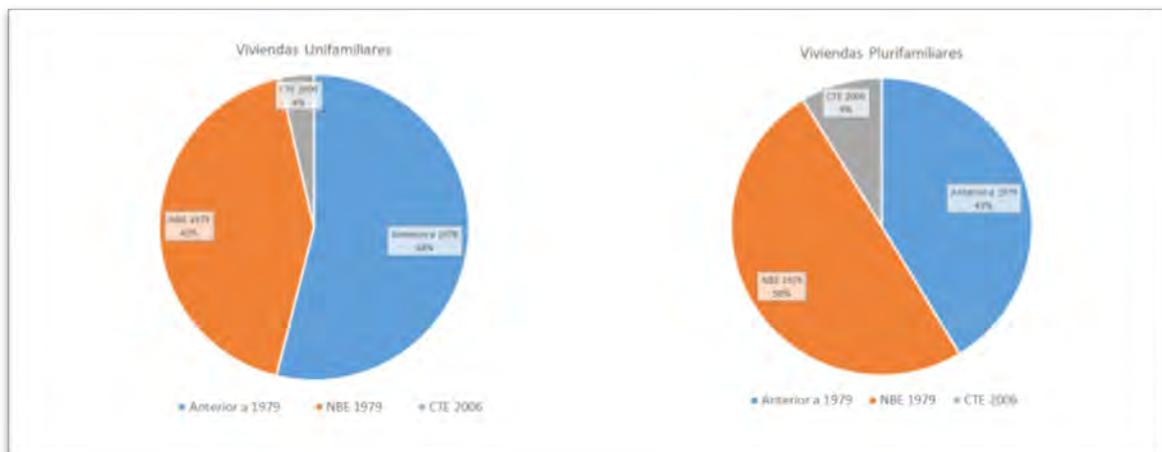
Antes de la NBE (Norma Básica de Edificación) de 1979.

Con la NBE de 1979.

Cumpliendo el CTE (Código Técnico de Edificación de España)

En el caso del parque residencial de viviendas de la ciudad de Motril se comprobó que existe más de un 40% de viviendas plurifamiliares construidas con anterioridad a la NBE de 1979.

En la figura de abajo (Fig. 3) se representa la distribución por normativa de construcción de las viviendas en la ciudad de Motril



**Figura 3: Parque Residencial por normativa de construcción en Motril**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

El padrón de habitantes proporciona el número de habitantes por vivienda, así como su ubicación.

Con la factura de contratos eléctricos se obtiene la información de gasto energético pero esa información sensible debe ser capturada a partir de métodos que cumplan en todo momento con el Real Decreto-ley 5/2018, de 27 de julio, de medidas urgentes para la adaptación del Derecho español a la normativa de la Unión Europea en materia de protección de datos y que sigue a la directiva europea GDPR 2016/679

## **5. Depuración de los datos**

Filtrado y depuración de los datos aportados, definiendo el modo y formato de presentación/agregación: modelos de estandarización de datos

El filtro y depuración de los datos aportados se realiza con herramientas proporcionadas por GeoMedia que nos permite generar de forma ágil un Sistema de Información Geográfica para poder integrar y georreferenciar en el territorio todas las fuentes de información a partir de la parcela catastral.

La depuración de la cartografía se realiza desde el escenario más actualizado posible y a partir de ahí se acomete la depuración si fuese necesario de viales y números de policía (portal)

Además, puesto que el estudio es sobre vivienda residencial se realizó una extracción de información solo referida a ese uso. En el caso de Motril se ha realizado la distinción entre viviendas unifamiliares y plurifamiliares

En la ciudad de Motril, ha sido necesario un análisis de los distintos formatos de presentación de datos, tanto por parte de suministradores energéticos, como por las entidades públicas implicadas (catastro, padrón, etc.) Por tanto, para otras ciudades hay que incluir la necesidad de analizar y resolver incidencias en el acceso a las fuentes de datos y sus propietarios promoviendo el intercambio de datos no sensibles a través de estándares abiertos

Se tuvo que realizar un filtrado de los datos recibidos desde los suministradores energéticos seleccionando solo aquellos referidos al ámbito de nuestro estudio (Sector Residencial) teniendo en cuenta además el CUPS (Código Universal de Punto de Suministro) y los periodos de facturación de la distribuidora

En el estudio de la ciudad de Motril se realizó una desagregación útil de los contratos eléctricos. Solo fueron agregados al Sistema de Información Geográfica aquellos contratos referidos a viviendas en Motril con consumo no nulo.

En la figura de abajo (Fig. 4) se pueden apreciar el total de depuración realizada con los contratos eléctricos ya que, de los más de 22000 iniciales, solo se vincularon en GeoMedia unos 17500 separados entre viviendas unifamiliares y plurifamiliares



**Figura 4: Desagregación útil de suministros eléctricos**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

## 6. Base de datos relacional en el s.i.g

Creación de una Base de Datos Relacional en un Sistema de Información Geográfica

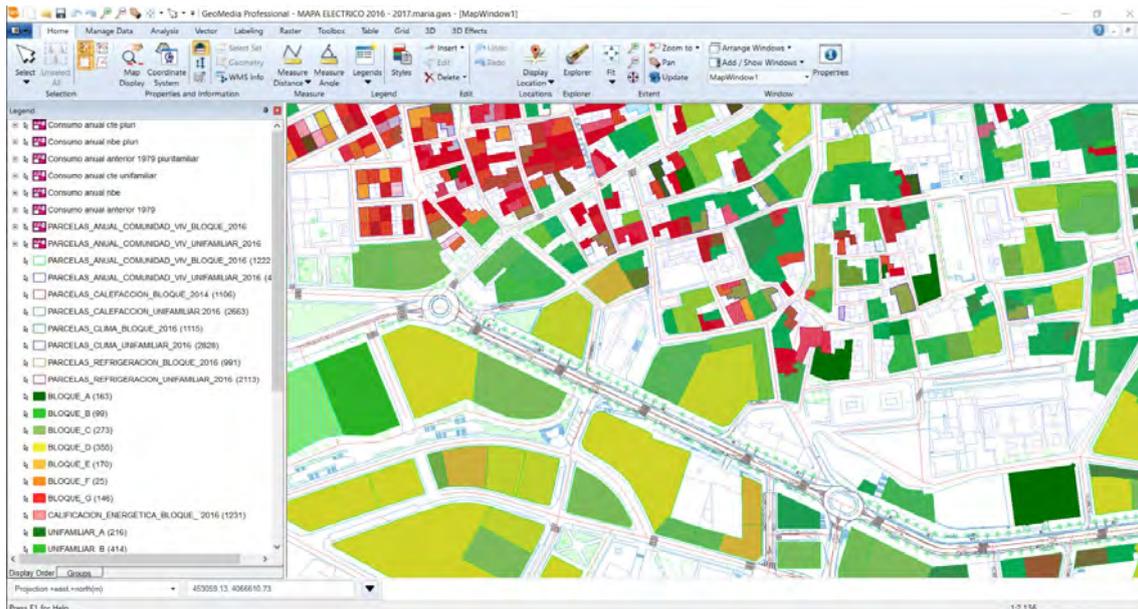
Se trata de componer un modelo relacional geográfico con los diferentes formatos cartográficos necesarios a incorporar y con la complementación de los datos relativos a calles y parcelas catastrales (edificios) filtrados y depurados según metodología explicada en el apartado anterior.

Se concreta también la incorporación de los datos de contratos eléctricos y habitantes, al modelo relacional geográfico y la obtención de mapas temáticos mediante su integración en una cartografía (por zonas/barrios en las ciudades/municipios)

Para que el diseño y la definición del proceso sea estandarizado se recurre a la facilidad del software GeoMedia que permite definir los procesos para su incorporación de manera generalizada a través de modelos de acción. Estos modelos de acción se pueden incorporar como procesos en la generación del Portal Web, sin necesidad de preprocesamiento previo.

La estandarización de la estructura del repositorio de información que integra los datos objeto de análisis es fundamental para la aplicación de lo realizado con los datos de Motril a otros ayuntamientos

Abajo el ejemplo de los datos de la ciudad de Motril con datos relacionales de consumo, catastro y padrón (Fig. 5) donde se han agregado los datos depurados en el sistema de Información Geográfica gracias a las herramientas que proporciona GeoMedia



**Figura 5: Ejemplo de Mapa Temático en GeoMedia**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

Para estandarizar los procesos de incorporación de datos de consumos energéticos, agua, habitantes, datos catastrales, etc., al modelo relacional geográfico, GeoMedia, ofrece una herramienta que permite esa homogeneización. Esta herramienta es Spatial Modeler de Hexagon

Spatial Modeler es un entorno de modelización integrado en GeoMedia que permite la automatización de los procesos de agregación espacial y de atributos necesarios para la incorporación al modelo geográfico de datos externos como padrón o consumos energéticos

Spatial Modeler permite al usuario la creación de procesos complejos mediante la creación de diagramas de flujo con operadores lógicos muy sencillos

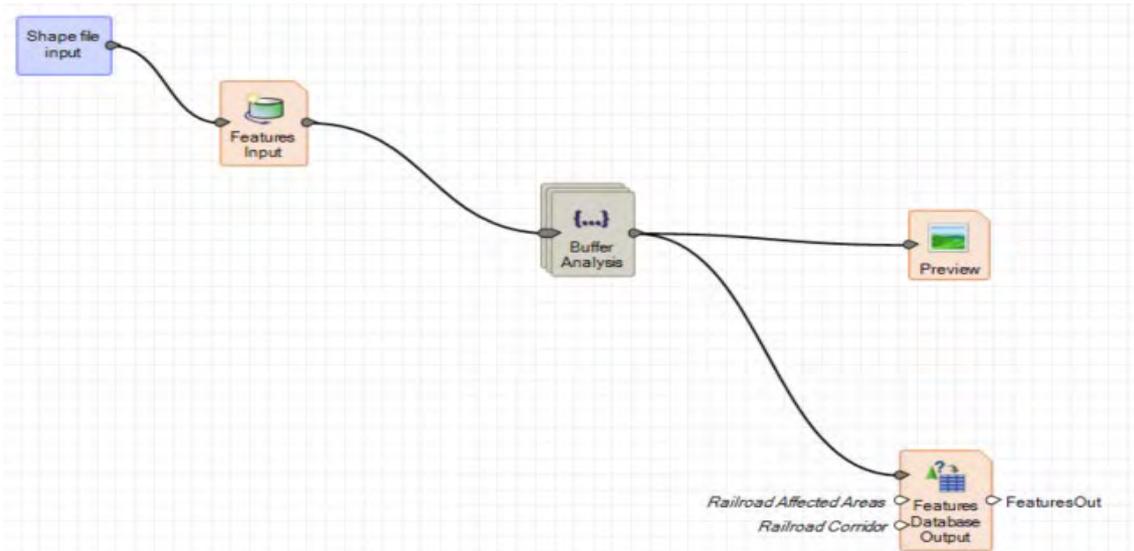
Los procesos se pueden visualizar en tiempo real, con indicadores visuales de éxito o fracaso según se avanza en la ejecución del proceso

El modelo comprende: objetos geográficos o alfanuméricos

Operadores

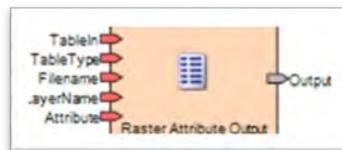
Conexiones

Y también parámetros en los puertos para la entrada (a la izquierda) y la salida de forma que los requeridos aparecen en color rojo y los opcionales en gris



**Figura 6: Ejemplo de modelo de Spatial Modeler**  
Fuente: Hexagon

En la figura siguiente (Fig. 7) aparece un ejemplo de atributos alfanuméricos



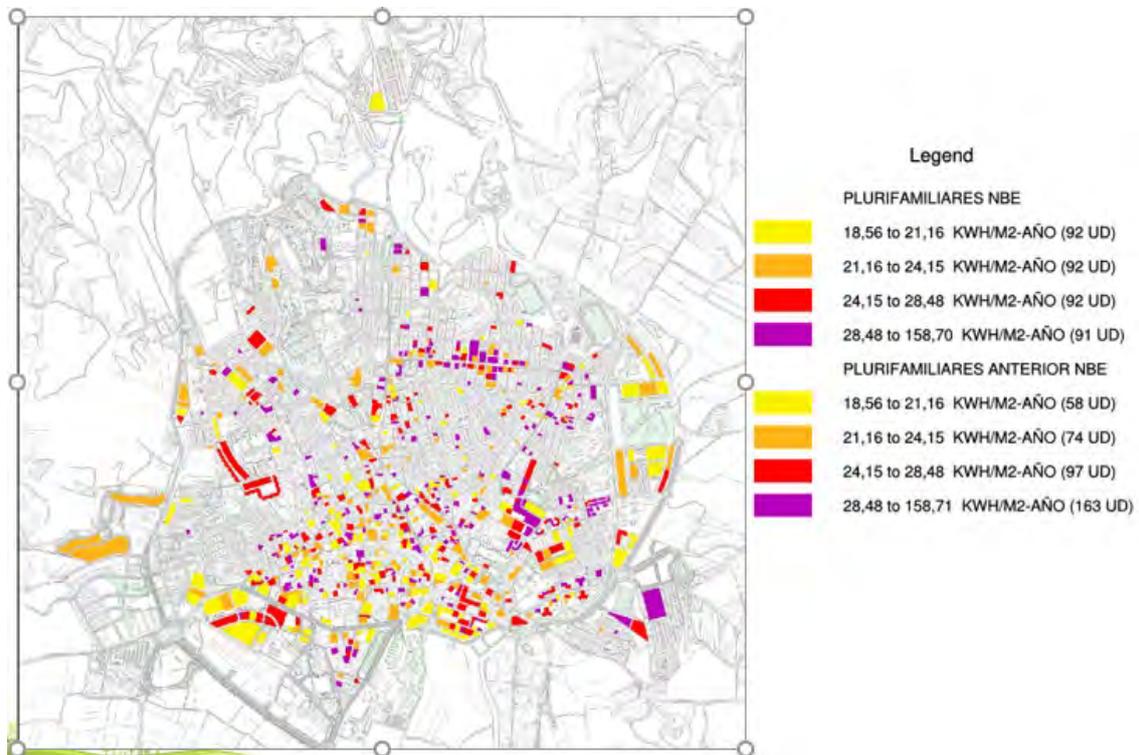
**Figura 7: Ejemplo de atributos en Spatial Modeler**  
Fuente: Hexagon

Los datos agregados con estas herramientas en el caso de la ciudad de Motril han proporcionado una modelización relevante de los procesos depurativos y ejecutivos exportable a otros municipios. El estudio analítico del Consumo eléctrico de Clima en Vivienda en la ciudad de Motril arroja un resultado sobre el valor modal en el consumo de kWh/m<sup>2</sup> según la norma de edificación que demuestra que las normas de edificación recientes mejoran el consumo de energía y por lo tanto son mas sostenibles como se observa en la tabla siguiente:

Tipo de vivienda	Normativa de edificación	Moda (kWh/m <sup>2</sup> )
Unifamiliar	Anterior 1979	1,2
	NBE-79	0,7
	CTE-2006	0,4
Plurifamiliar	Anterior 1979	1,6
	NBE-79	1
	CTE-2006	0,9

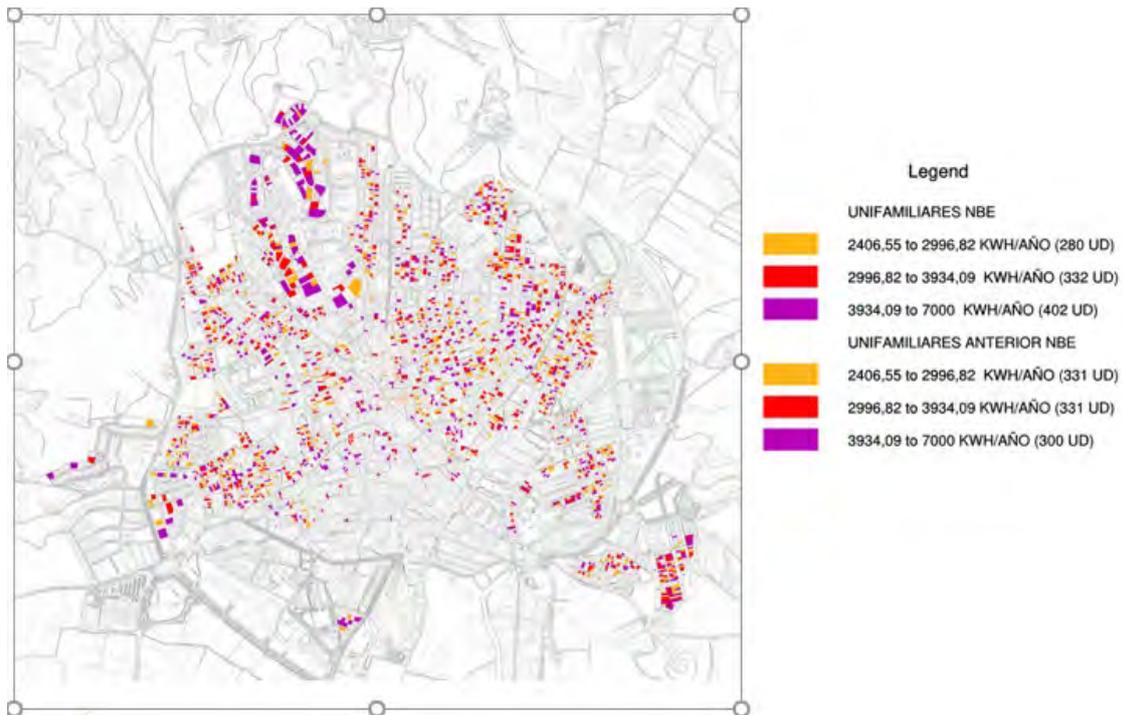
**Figura 8: Parque de viviendas en Motril Fuente: Ayuntamiento de Motril**

Como además se poseen los datos de consumo reales de esas viviendas se puede visualizar con GeoMedia un mapa temático con aquellas viviendas plurifamiliares que consumen por encima de la moda en kWh/m<sup>2</sup> y año completo y que por tanto son candidatas a programas de rehabilitación, como se puede ver en la figura siguiente quedando patente la distribución espacial de esas viviendas en la ciudad de Motril



**Figura 9: Consumo Parque de viviendas Plurifamiliares superior a la moda**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

Y exactamente el mismo proceso con el Parque de Viviendas Unifamiliares que tienen consumos eléctricos anuales por encima de la moda como se puede ver en la imagen siguiente:



**Figura 10: Consumo Parque de Viviendas Unifamiliares superior a la moda**  
**Fuente: Ayuntamiento de Motril**

GeoMedia permite además realizar los correspondientes cálculos de área para conocer el total de superficie susceptible de rehabilitación

## 7. Plataforma web

Implementación de una plataforma que integre los modelos Cartográfico y relacional para su análisis

La forma mas accesible para cualquier gestor que desee analizar la información es a través de un Portal Web que permita el acceso a los datos desde cualquier dispositivo (ordenador, móvil, Tablet etc.)

Se trata así, de mostrar los resultados de los Estudios de Consumo Energético en una plataforma integradora que permita extraer conclusiones de forma ágil para ayudar a la toma de decisiones sobre rehabilitación de viviendas con datos reales.

Para mostrar los resultados de los puntos anteriores de depuración e integración se puso de manifiesto la necesidad de desarrollo de una plataforma TIC en la que integrar los modelos cartográficos, relacional y BBDD diseñados, junto con los algoritmos de integración de datos para su análisis.

Esta plataforma se denomina Smart M.App (Hexagon) y permite la generación de aplicaciones de mapas ligeros que resuelven problemas reales con lógica de negocio. Ofrecen una manera nueva y potente de comprender mejor los cambios y

transformaciones de nuestras ciudades pueden combinar contenidos, realizar análisis sofisticados, y proporcionar flujos de trabajo más adaptados, fundiendo todo ello en una experiencia en tiempo real para el usuario.

Y por supuesto en una aplicación web, donde no es necesaria la instalación de una herramienta o programa en el terminal desde donde se quiere acceder a los datos.

El acceso puede ser por usuario y contraseña, pero universal, es decir independiente del navegador.

La información será estructurada y relevante

La arquitectura de la aplicación se basa en 3 niveles y está orientada a servicios (SOA):

1. Capa Cliente o de presentación de datos: interfaz de usuario, interacción instrucciones y resultados
2. Capa de Servicios o de negocio: funciones, procesamiento y operaciones
3. Capa de información o de manejo de datos: gestión de datos, acceso a los mismos almacenamiento y recuperación

La aplicación está dirigida tanto a profesionales del sector como para particulares. No será necesario instalar ninguna aplicación adicional, con un simple clic en el navegador de internet el usuario conectado podrá acceder a la cartografía publicada mediante las utilidades y herramientas de visualización y navegación permitiendo interactuar con los mapas que contienen la información geográfica y los datos relevantes.

No es solo un cuadro de mando con información estática, sino que es una aplicación web que permite la ejecución en tiempo real de todos los geo-procesos explicados en la metodología.

El usuario final solo necesita un conocimiento básico sobre navegación en páginas web ya que la aplicación es intuitiva y fácil de usar.

A continuación, un esquema de los niveles de la aplicación web:

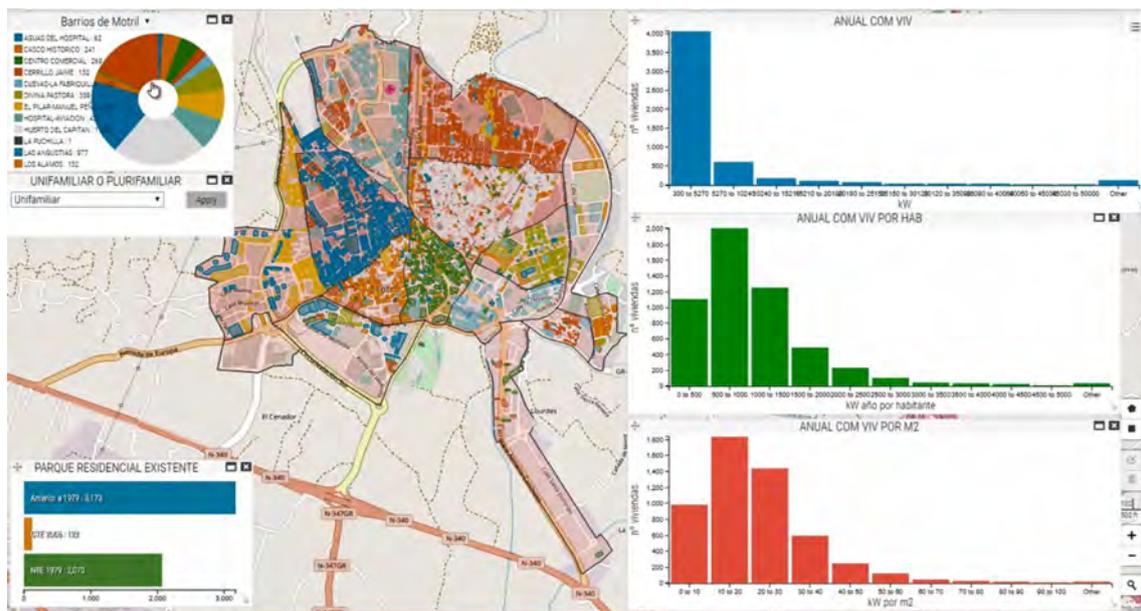


**Figura 11. M.App Enterprise Map Production.**  
Fuente Hexagon

Como se puede ver en la arquitectura, las plataformas de creación de la Smart App dependen de que exista previamente una base de datos a la que poder conectarse en la que esté estructurada toda la información que se quiere visualizar y/o analizar. Por tanto, hay que crear una capa de información con la base de datos con las siguientes prestaciones:

- Soportar el cálculo y la actualización de la información cartográfica de las diferentes fuentes con los geo-procesos incorporados
- Soportar operaciones básicas de consulta, de explotación y de interrelación de informaciones.
- Permitir generar cartografía general, sectorial y temática.
- Publicar los datos de los consumos energéticos en función del tipo de vivienda y de su normativa de construcción en Internet.
- Publicar los datos segmentados por barrios, meses etc.

En el caso del Ayuntamiento de Motril, la utilización de esta plataforma web permite al gestor manejar todas las variables de consumos, barrios, normativa de edificación, tipo de vivienda (plurifamiliar o unifamiliar) y se puede segmentar por unidades de tiempo (meses) o totalizar por anualidades ya sea por habitante o por m2



**Figura 12. Plataforma Smart M.App**  
Fuente: Hexagon

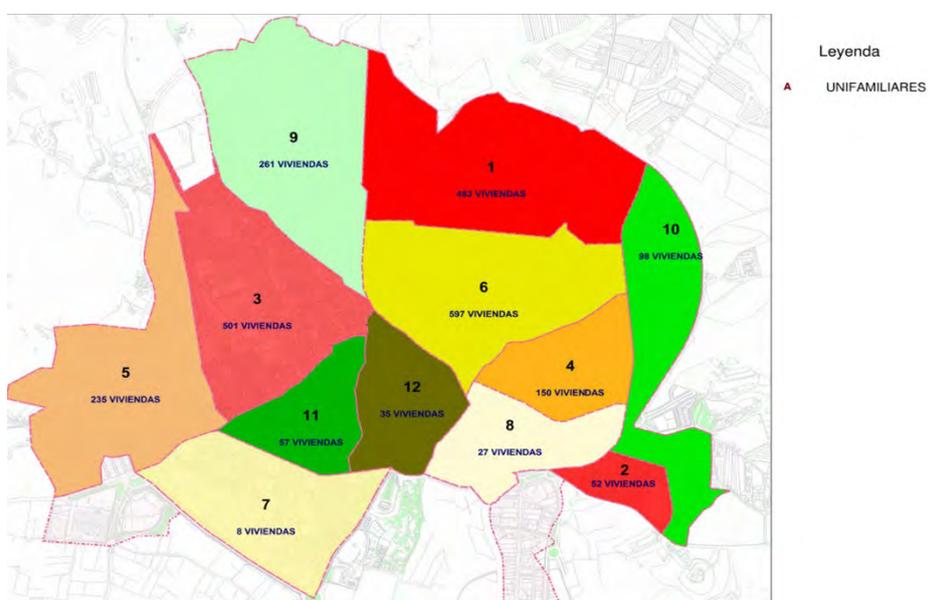
## CONCLUSIONES

Los estudios realizados en la ciudad de Motril con datos reales de consumos energéticos arrojan conclusiones que permiten la toma de decisiones sobre asignación de prioridades en rehabilitación energética por barrios, tanto en viviendas plurifamiliares como unifamiliares

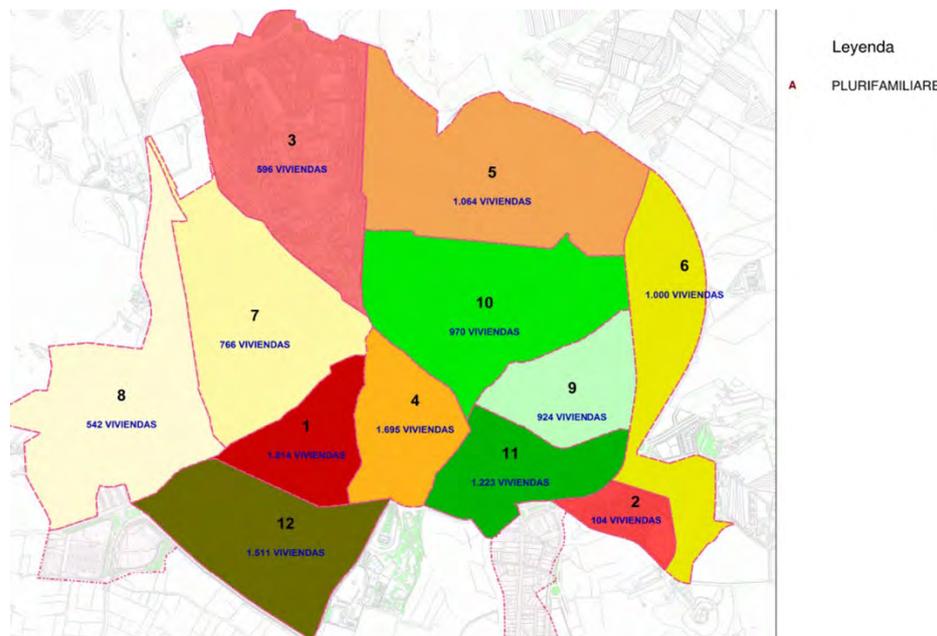
El estudio permite así mismo, el desglose de Consumos Totales por Barrio tanto en viviendas plurifamiliares como unifamiliares con datos de:

- Consumo anual total del barrio en kW/h
- Consumo por m<sup>2</sup> en kW/h en el barrio
- Consumo en el barrio por habitante y año en kW/h

Y además visualizar de manera temática los barrios de actuación necesaria en función de los datos obtenidos, como se puede observar en las figuras siguientes (Fig. 13 y. 14)



**Figura 13. Asignación de prioridad en Rehabilitación Energética en Unifamiliares**  
Fuente: Ayuntamiento de Motril



**Figura 14. Asignación de prioridad en Rehabilitación Energética en Unifamiliares**  
Fuente: Ayuntamiento de Motril

Las conclusiones del estudio sobre la ciudad de Motril son:

- Actuación sobre viviendas Unifamiliares con consumos superiores a la moda (2.000 kWh/Año) que constituyen un total de 2,504 viviendas con una superficie de 380.890,00 m<sup>2</sup>
- Actuación sobre viviendas Plurifamiliares con consumos superiores a la moda (17 kWh/m<sup>2</sup>) que suman 9.978 viviendas con una superficie de 926.777,89 m<sup>2</sup>

GeoMedia y la plataforma web inteligente basada en Smart App son herramientas abiertas y muy útiles para la estandarización y generalización del estudio de Eficiencia Energética de cualquier ciudad.

Las herramientas visuales que ofrece Spatial Modeler de GeoMedia permiten aplicar los procesos a los datos para su depuración y extracción de forma automática. Estos procesos se pueden incorporar en tiempo real al portal para ser ejecutados según se aporten más datos.

Los datos son después ofrecidos en forma inteligente al gestor para mejorar la toma de decisiones.

Esta metodología es la única herramienta de análisis que permite a nivel local, conocer la realidad del consumo de cada uno de los edificios que conforman la ciudad.

Además, ayuda de forma rigurosa a establecer políticas y estrategias de impulso a la rehabilitación preferente en el sector residencial que permitirán conseguir una mejor eficiencia energética en nuestras ciudades.

## REFERENCIAS

Propuesta de Plan Estratégico de Rehabilitación Preferente en el Sector Residencial de Motril. (Ayuntamiento de Motril)

Páginas oficiales de Hexagon Geospatial

<http://www.hexagongeospatial.com/products/smart-mapp/mapp-enterprise>

<https://blog.hexagongeospatial.com/spatial-modeling-in-geomedia-desktop-2016/>

Página oficial del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

<http://www.idae.es/>

Resumen Información básica Spahousec

Instituto Nacional de Estadística, 2015. Censos de Población y Viviendas 2011

<https://www.ine.es/>

Boletín Oficial del Estado (BOE)

<https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/04/05/233>

Web oficial de la Unión Europea

[https://europa.eu/european-union/topics/energy\\_es](https://europa.eu/european-union/topics/energy_es)

### **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Antonio Bueno Granadino

Teléfono: +34 679 55 31 43

E-mail: [abueno@motril.es](mailto:abueno@motril.es)      [abueno@telefonica.net](mailto:abueno@telefonica.net)

### **Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Sergio Barroso  
Agustín Sánchez  
Pedro Núñez  
Pablo García  
Pablo Bustos

*Universidad de Extremadura*

## **SMARTPOLITECH: ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA BASADO EN MODELO DE MEZCLAS DE GAUSSIANAS**

### **Resumen**

La gran cantidad de datos recopilados por los sensores inteligentes representan un recurso de gran valor que se puede utilizar para entender mejor el comportamiento de los usuarios y así poder optimizar el consumo y las necesidades de los edificios públicos. Existe actualmente un interés creciente en la comunidad internacional para hacer uso del histórico de datos con el objetivo de predecir el consumo de energía o de agua, por ejemplo, de forma que la demanda pueda ser adaptada de forma dinámica e incluso pueda generarse alertas en caso de diferencias bruscas entre el consumo estimado y los datos reales adquiridos por los sensores. El presente artículo detalla el análisis de datos relativos al consumo de agua en la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura dentro del Proyecto de centro *SmartPoliTech*. Este proyecto es una iniciativa creada en dicho centro cuyo objetivo es transformar las instalaciones existentes en un espacio experimental para el estudio, análisis, diseño, implantación y validación de las tecnologías Smart. Las características de esta Escuela como centro universitario público la convierten en un escenario ideal para investigar en estos nuevos ecosistemas sociales digitales. En particular, este trabajo presenta un sistema predictivo del consumo de agua de la Escuela Politécnica, donde en el mismo se realiza el análisis de los meses más significativos del histórico de datos del centro, extrayendo patrones de consumo típicos en diferentes meses del año. En el enfoque propuesto, y una vez los datos son adquiridos a partir de medidores de consumo instantáneos inteligentes, se utiliza el algoritmo *Expectation Maximization* para realizar un modelo de mezcla de gaussianas sobre los datos, cuyos resultados son presentados en este documento. Los parámetros de este modelo de mezcla varían según el tipo de día (día de la semana, fin de semana), y también el mes concreto. La metodología propuesta se aplica a un conjunto de datos reales del histórico de datos de los edificios de la Escuela Politécnica, y los modelos son validados a continuación con datos reales durante los últimos seis meses. Los resultados se cruzan con variables contextuales disponibles como, por ejemplo, días festivos o periodo de exámenes, arrojando resultados interesantes a la hora de estudiar la demanda real en dichas situaciones.

### **Resumen en Inglés**

The large amount of data collected by smart sensors is a resource of great value that can be used to better understand user behavior and thus be able to optimize the consumption and the resource needs of public buildings. There is currently a growing interest in the international community to make use of the historical data in order to predict the consumption of energy or water, for example, so that the demand can be

adapted dynamically and even generate alerts in case of sharp differences between the estimated consumption and the real data acquired by the sensors. This article details the analysis of data related to water consumption in the Escuela Politécnica of the University of Extremadura within the SmartPoliTech Center Project. This project is an initiative created in this center whose objective is to transform existing facilities into an experimental space for the study, analysis, design, implementation and validation of Smart technologies. The characteristics of this School as a public university center make it an ideal setting to investigate these new digital social ecosystems. In particular, this work presents a predictive system for water consumption at Escuela Politécnica, where the analysis of the most significant months of its data history is carried out, and extracting typical consumption patterns in different months of the year. In the proposed approach, and once the data is acquired from smart instant consumption meters, the Expectation Maximization algorithm is used to perform a Gaussian mixture model on the data, the results of which are presented in this document. The parameters of this mix model vary according to the type of day (day of the week, weekend), and also the specific month. The proposed methodology is applied to a set of real data of the data history of the buildings of the Escuela Politécnica, and the models are validated below with real data during the last six months. The results are crossed with available contextual variables such as, for example, holidays or exam periods, yielding interesting results when studying the real demand in these situations.

**Palabras clave:** *consumo de agua; Smart building; modelos predictivos de consumo*

**Keywords:** *water consumption; Smart building; predictive consumption models*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles en la edificación.*

## 1. Introducción

A lo largo de los últimos años, gracias al extraordinario desarrollo de la tecnología y el esfuerzo de investigadores, empresas y entidades públicas, está surgiendo la tendencia de sensorizar todo lo que está a nuestro alrededor con el objetivo de mejorar nuestro estilo de vida, ayudar al medio ambiente o recoger diferente información sobre aspectos importantes de nuestro día a día. El desarrollo de sensores inteligentes que nos permitan adquirir este conocimiento a partir de los datos capturados, almacenándolos y posteriormente utilizándolos como un proceso de aprendizaje continuo es, hoy día, una línea de trabajo especialmente interesante para afrontar problemas tan reales como el crecimiento de la población urbana – y por ende, el consumo demandado –, el número limitado de recursos, etc.

El uso seguro, eficiente y funcional de los espacios públicos y privados constituye un reto al que diariamente los expertos tienen que enfrentarse ante un mundo tan globalizado y demandante de recursos. La realidad que puede apreciarse en la mayoría de los edificios construidos y que usamos a diarios – centros de trabajo, universidades, escuelas, etc. – es el despilfarro energético y de agua, falta de confort, o infrautilización de los espacios y recursos asignados en un principio. Es por este motivo que es necesario políticas de concienciación y mejora de nuestros hábitos, de forma que el ciudadano inteligente no sólo sea un sujeto pasivo, si no que participe activamente en la mejora y uso de las instalaciones.

En el caso concreto del consumo de agua o electricidad en edificios de uso público o privado, la posibilidad de disponer de un histórico de datos nos permite conocer la interacción real de los usuarios de estos edificios con la energía de la que disponen, y adaptar el edificio para mejorar nuestro estilo de vida, reducir el consumo y mejorar el medio ambiente. De la misma forma, estos datos pueden ser utilizados para adaptar la

demanda de recursos o detectar fallas y anomalías en tiempo real que puedan reducir costes o pérdida de recursos.

En este contexto, tanto ciudades como compañías eléctricas están comenzando a implementar diferentes programas para equipar edificios con diferentes sensores de medida. En el caso de la Escuela Politécnica de Cáceres (en adelante EPCC) de la Universidad de Extremadura, se está desplegando desde 2012 el proyecto *SmartPolitech* (Sánchez, 2017), un proyecto cuyo objetivo es la reducción de consumo de energía y de recursos en sus edificios, la concienciación de sus usuarios sobre buenos hábitos de consumo y la mejora del medioambiente. Para ello, se han desplegado una serie de sensores de todo tipo (medida de consumo de agua, de electricidad, de humedad, de CO<sub>2</sub>, etc.) que generan un continuo flujo de datos sobre los distintos niveles de consumo que se están dando en toda la EPCC. Todos estos datos son almacenados y se presentan en sistemas de visualización dispuestos a lo largo de la EPCC, como puede apreciarse en la Fig. 1.



**Figura 1: Sistema de visualización de datos de consumo de agua (en litros) por día en los diferentes edificios de la EPCC**

Estos datos son analizados con el objetivo de definir estrategias para la optimización del consumo y la mejora de la eficiencia energética de la EPCC. En particular, este trabajo presenta un sistema predictivo del consumo de agua de la EPCC, donde en el mismo se realiza el análisis de los días y meses más significativos del histórico de datos del centro, extrayendo modelos de consumo típico. El modelo utilizado hace uso de una mezcla de gaussiana que permite, variando sus parámetros, ajustarse de forma robusta al tipo de día y mes concreto. Gracias a estos modelos es posible estudiar su relación con situaciones concretas del centro, buscando analogías para predicciones futuras, o detectar consumos excesivos no esperados, lo que puede estar asociado a fugas de agua (algo normal en un edificio de más de treinta años de antigüedad).

Este trabajo se divide en las siguientes secciones: tras un primer repaso al estado del arte en materia de algoritmos y sistemas de predicción de consumo en edificios inteligentes en la Sección 2, este artículo presenta la metodología utilizada para modelar el consumo de agua en el edificio de Ingeniería Informática de la EPCC (Sección 3). Los modelos resultantes son presentados y evaluados en la Sección 4. Finalmente, las principales conclusiones y trabajo futuro se presentan en la Sección 5.

## 2. Estado de la cuestión

En este capítulo se presentan diversos trabajos relacionados con la propuesta. En primer lugar, se expondrán otros métodos para el análisis estadístico de grandes conjuntos de datos que permitan la predicción o el análisis de tipos de consumo.

### 2.1 Predicción de consumo

La predicción de consumo, ya sea energético o de agua, es un tema de interés en los últimos años. Para abordar este problema, muchos autores hacen uso de modelos de datos que permitan matemáticamente disponer de una función o expresión para evaluar su valor en un instante de tiempo  $t$  determinado. (Melzi et al., 2017) utilizan una gran cantidad de datos recopilados por medidores inteligentes para comprender mejor el comportamiento del consumidor y optimizar el consumo de electricidad en las ciudades. Presentan un enfoque de clasificación sin supervisión para extraer patrones de consumo típicos. Su enfoque, como el propuesto en este trabajo, se basa en un modelo de mezcla gaussiana restringida cuyos parámetros varían según el tipo de día. Para cada grupo de usuarios, el modelo proporciona tres perfiles de consumo que dependen del tipo de día. El trabajo presentado en (Caro, 2016) persigue la optimización del modelo predictivo de consumo desarrollado en (MacQueen, 1967), en particular aplicado al sistema Balear, y comparando dos métodos diferentes para predecir la demanda eléctrica. Estos métodos permitían tener en cuenta variables como la demanda real, la temperatura prevista y la existencia de días festivos. Otros trabajos, como el presentado en (Caro, 2015) plantean la predicción para consumo de energía eléctrica en combinación con elementos externos, como la temperatura.

A diferencia de los trabajos anteriores que hacían uso de modelos de datos, las nuevas técnicas de *Deep Learning* han comenzado también a emplearse en la predicción de consumo y demanda. Los primeros trabajos se realizaban mediante el uso de redes neuronales sencillas (Azadeh et al, 2007), (Kadir et al, 2009) aportando resultados aceptables al comparar con los datos reales. La evolución de la técnica y de las redes ha permitido avanzar en esta línea de trabajo y obtener resultados más precisos usando simplemente añadiendo más capas de abstracción (Elena et al, 2016). El principal problema de estas técnicas es la elevada carga computación y de tiempo en un correcto entrenamiento, lo que en ocasiones es inviable de replicar en diferentes escenarios.

## 3. Descripción del sistema SmartPoliTech para la estimación de consumo

### 3.1 Proyecto SmartPolitech

*SmartPoliTech* (Sánchez, et al ,2017) es un proyecto en desarrollo en la EPCC de la Universidad de Extremadura que aspira a transformar la EPCC en un gran ecosistema experimental, un *living-lab* para el diseño, implantación, integración y validación de sistemas capaces de crear y gestionar espacios inteligentes, mediante el desarrollo de tecnologías *SmartX*.

Con *SmartPoliTech* se busca concienciar a los usuarios de la EPCC sobre buenos hábitos de consumo energético a la vez que se trata de mejorar la eficiencia energética y de consumo en las instalaciones existentes. La EPCC, que fue construida hace casi 30 años, presenta una serie de anomalías en consumo energético derivadas de la antigüedad y la falta de adaptación de los edificios que la componen. Algunas de las anomalías que presenta el entorno son las siguientes:

- Exceso de consumo en agua sanitaria, de la cual se despilfarran muchos litros. Actualmente se consumen en torno a 4000 metros cúbicos por año de agua.
- Consumo poco eficiente de la energía eléctrica o gasoil. En un año se consumen en torno a 60 metros cúbicos de gasoil.
- Mala calidad del aire interior debido a falta de ventilación que supone altas concentraciones de CO2.
- Falta de control térmico en los espacios, alternando períodos muy fríos con otros demasiado calientes.

La construcción de los edificios, la orientación de las clases o la distinta temperatura que se pueden dar entre dos plantas de un mismo edificio, son factores que, si bien hasta el desarrollo de este proyecto no se tenían en cuenta, se pueden utilizar para distribuir mejor los recursos energéticos de los que se dispone e intentar paliar las anomalías energéticas presentadas.

### 3.2 Sensorización de la EPCC

A partir de un análisis previo de diversos factores como la orientación de los edificios, la localización de puntos críticos respecto a las condiciones térmicas, selección de contadores, llaves de paso y puntos importantes del sistema energético de los pabellones de la EPCC, se procedió a realizar un proceso de sensorización para medir distintas variables importantes para el control energético. Algunos de los sensores que se desplegaron se enumeran a continuación: i) temperatura ambiental; ii) humedad relativa; iii) agua; iv) CO2; v) presencia y localización de personas; vi) temperatura de agua (calderas); vii) consumo de gas; y viii) estado de las ventanas (abiertas-cerradas). En la Fig. 2 se muestran algunos ejemplos de los sensores desplegados.

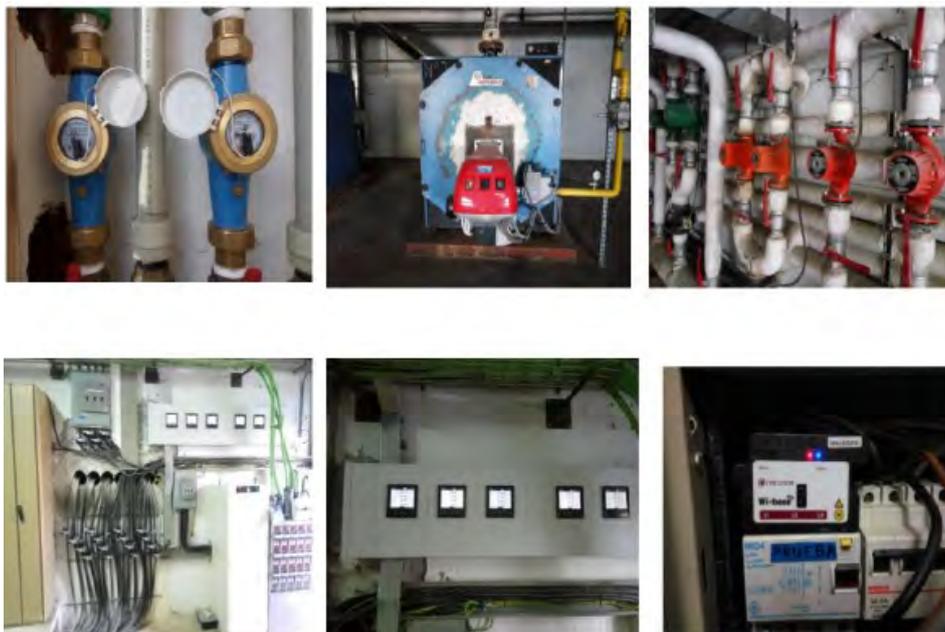


Figura 2: Detalle de sensores instalados en la EPCC

Estos sensores generan una gran cantidad de información de forma constante que se almacena en un servidor de virtualización que además da soporte a la recepción, procesado y visualización de los datos. Esto forma una infraestructura *cloud* pública a la que cualquiera tiene acceso mediante un navegador web. Los datos además pueden ser descargados en formato JSON haciendo uso de distintas APIs disponibles en diferentes lenguajes (*Python*, *MatLab*, etc.).

Además, todos estos datos pueden ser visualizados por todos los usuarios de la EPCC mediante un conjunto de pantallas que se han distribuidos por puntos estratégicos y que muestran una parrilla de contenidos que se van mostrando secuencialmente a lo largo del día. Uno de los contenidos más importante que se muestran son los gráficos que genera el software *Grafana* sobre los aspectos más relevantes de las medidas de los sensores, así como su conversión a coste económicos y otra serie de información. En la Fig. 3 se muestra algunos ejemplos de la información que se muestra a través de estas pantallas, imagen que complementa a la Fig. 1.

### 3.3 Análisis de datos

Como se ha ido explicando a lo largo del trabajo, únicamente se estudiarán los datos relativos al consumo de agua de la EPCC. Los datos que hemos tenido en cuenta han sido extraídos de un total de 12 sensores, distribuidos por la EPCC tal y como se muestra, de forma aproximada, en la Fig. 4.

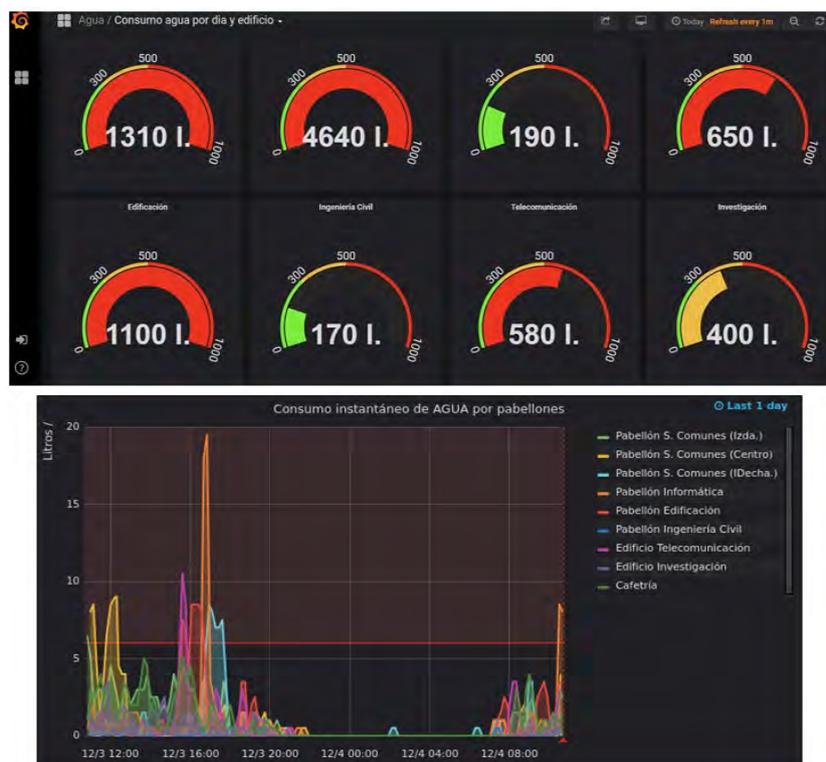
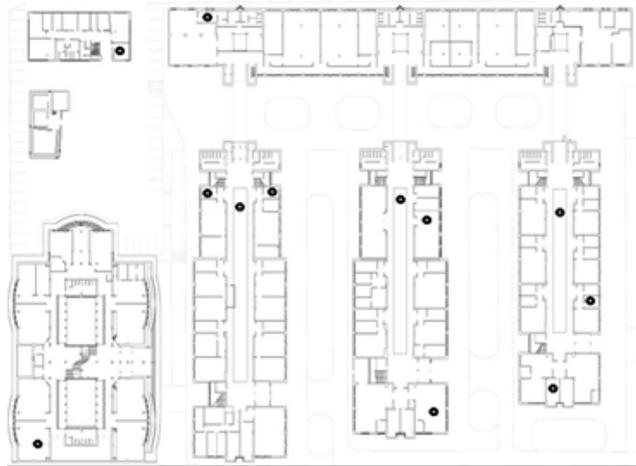


Figura 3: Dashboards de Grafana utilizados en SmartPoliTech



**Figura 4: Distribución aproximada de Sensores de Agua por la EPCC en SmartPoliTech**

En la Tabla 1 se muestra el nombre de cada sensor, el lugar en el que está situado y la fecha de inicio de toma de datos.

El análisis de datos si se ha llevado a cabo para la totalidad del conjunto de sensores, sin embargo, para la predicción de consumo se ha optado para estudiar los sensores con una relevancia mayor. Dependiendo de la fecha de inicio de cada sensor se tiene una mayor o menor variedad de datos, pero de todos ellos ha sido posible extraer una serie de conclusiones interesantes. Lógicamente, en este documento únicamente se presentarán los datos correspondientes a los sensores situados en los pabellones con más actividad de la EPCC pues son los que más conclusiones permitirán extraer.

**Tabla 1: Lista de sensores, ubicación y fecha de inicio de toma de datos**

	Device	Location	Start Date
1	UEXCC_ATE_P00_CUA003_SEN001_AGU	Servicios comunes Arquitectura	07-06-2017
2	UEXCC_ATE_P00_LAB003_SEN001_AGU	Arquitectura Laboratorio 23	21-11-2016
3	UEXCC_ATE_P00_LAB018_SEN001_AGU	Arquitectura Laboratorio 18	24-11-2016
4	UEXCC_INF_P00_ASE003_SEN001_AGU	Informática Aseos Mujeres	23-11-2016
5	UEXCC_INF_P00_COM048_SEN003_AGU	Informática Aseos Hombres	23-11-2016
6	UEXCC_INF_P00_CUA002_SEN002_AGU	Servicios comunes Informática	24-08-2016
7	UEXCC_OPU_P00_CUA002_SEN001_AGU	Servicios Comunes Obras Públicas	17-10-2016
8	UEXCC_INV_P01_CUA002_SEN001_AGU	Edificio Investigación	17-10-2016
9	UEXCC_TEL_P00_CUA027_SEN001_AGU	Telecomunicaciones	07-06-2016
10	UEXCC_OPU_P00_LAB022_SEN001_AGU	Obras Públicas Laboratorio 22	04-04-2017
11	UEXCC_OPU_P00_LAB016_SEN001_AGU	Obras Públicas laboratorio 16	04-04-2017
12	UEXCC_SCO_P00_CUA012_SEN001_AGU	Cafeteria	13-10-2016

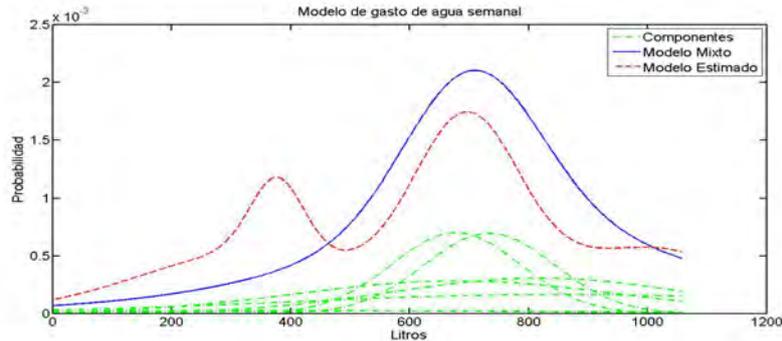
Se mostrarán gráficas de consumo por meses, en las cuales se podrá visualizar los cambios de tendencia de consumo a lo largo del curso académico, los picos de exceso de consumo y otros factores interesantes e importantes para extraer y entender las mezclas de gaussianas para la predicción de consumo que se han obtenido.

### 3.4 Modelo de mezcla de Gaussianas

A menudo resulta muy interesante generar una distribución gaussiana para el análisis de datos. Ahora bien, a medida que aumenta el número de datos disponibles estos no son tan simples como para ser modelados por una única gaussiana. Una buena

solución a este problema es la realización de una mezcla de gaussianas para representar dichos datos.

Con el objetivo de tener la capacidad de predicción de consumo a partir de los datos generados por SmartPolitech, se ha desarrollado un algoritmo de mezcla de gaussianas que podemos utilizar para realizar predicciones de consumo a largo plazo (modelos para un determinado mes) o a corto plazo de forma que se modele el consumo de un día del año anterior y compararlo con el mismo día del presente año. La Fig. 5 muestra uno de los modelos de mezcla obtenidos.



**Figura 5: Modelo de Mezcla Gaussiana para el consumo de agua de marzo de 2017.**

En este trabajo, se aplica un modelo de mezcla gaussiana basado en el algoritmo EM, descrito en diferentes trabajos y que consiste en la aplicación de dos pasos iterativos consecutivos, el paso *E*, *expectation*, y el paso *M*, *maximization* (MacQueen, et al, 1967) (Melzi et al, 2016) (Melzi et al, 2017) al conjunto de datos de consumo de agua dado en los diferentes pabellones que forman la EPCC, de forma que nos permita clasificar esos datos dependiendo del tipo de consumo, identificando horas, franjas horarias o días de mayor consumo y menor consumo, y realizar una predicción en base a dicha clasificación. Para llegar a esta mezcla de gaussianas debemos partir de la expresión para una única gaussiana, que se muestra en la fórmula 1.

$$N(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{\sigma^2}} \quad (1)$$

Donde  $\mu$  es la media,  $\sigma$  es la desviación estándar y  $x \in \mathcal{R}$ .

De forma lógica, podremos deducir que, para obtener una mezcla o combinación lineal de  $m$  Gaussianas, la expresión deberá tener la forma que se muestra en la fórmula 2.

$$p(x|\mu, \sigma) = \sum_{i \in [0, k)} \pi_i N(x, \mu_i, \sigma_i) \quad (2)$$

, donde la probabilidad ahora incluye un sumatorio que será combinación lineal de las distintas curvas gaussianas presentes en la mezcla, ponderadas por un factor de

ponderación  $\pi_i$ , al que llamaremos variable oculta. Hay que tener en cuenta que utilizamos, para cada gaussiana, una  $\mu_i$  (medias) y  $\sigma_i$  (desviaciones estándar) en el cálculo de cada probabilidad.

Inicialmente se supondrá una media inicial, una desviación estándar inicial y valores iniciales para las variables ocultas,  $\pi_i$ , que irán variando en cada iteración del algoritmo EM. Cada iteración estará compuesta de dos pasos, paso E y paso M. Para el análisis de los datos con los que estamos trabajando en este proyecto no solo será importante calcular estas variables ocultas en relación con los datos que dispongamos, sino que además es necesario condicionarlas a los tipos de día o franjas horarias que estemos analizando.

El paso E calculará las probabilidades usando los vectores de media y desviación estándar actuales (estos valores varían en el paso M adaptándose mejor al conjunto de valores que se analiza). Estas probabilidades se calculan para cada función gaussiana y de esta forma podemos predecir qué gaussiana es responsable de cada valor en el conjunto de datos (responsabilidad). La expresión 3 es la utilizada para el paso E.

$$r_{ic} = \frac{\pi_c N(x_i | \mu_c, \sigma_c)}{\sum_{j \in [0, k)} \pi_j N(x_i | \mu_j, \sigma_j)} \quad (3)$$

En este paso se utilizarán las responsabilidades para cada punto de datos con respecto a cada curva gaussiana utilizadas en el apartado anterior. Este paso se aplica para mejorar la media de cada curva, la desviación estándar y el factor de ponderación o variable oculta.  $r_{ic}$  es la responsabilidad del punto de los datos  $i$  con respecto a la curva gaussiana  $c$ , el numerador representa la probabilidad de que  $x_i$  esté bajo la curva gaussiana  $c$  y el denominador representa la suma de las probabilidades de que el dato  $x_i$  esté bajo cada una de las gaussianas que intervienen en la mezcla. Es decir, calculamos nuevos valores de media desviación y  $\pi_i$  a partir de lo obtenido en el paso E.

Para calcular la nueva media para cada curva  $c$  se aplica la expresión (4).

$$\mu_c^{new} = \frac{1}{N_c} \sum_i r_{ic} x_i \quad (4)$$

Es similar a calcular la media para una única curva gaussiana. La idea es sumar todos los puntos y dividirlos por el número total de puntos  $N_c$ , utilizando  $r_{ic}$  para explicar la pertenencia de cada punto de dato a una curva gaussiana.

Si hubiera una única curva gaussiana, cada dato pertenecería a la curva, y por lo tanto su responsabilidad es 1. Sin embargo, para una mezcla de gaussianas, un solo punto de los datos puede contribuir más a una curva que a otra. Las responsabilidades, por tanto, indican que cada dato agrega solo una fracción de importancia al recuento de total de puntos pertenecientes a la curva. Para la desviación estándar se aplicará la expresión 5, siguiendo la misma lógica que para el cálculo de la media.

$$\sigma_c^{new} = \frac{1}{N_c} \sum_i r_{ic} (x_i - \mu_c^{new})^2 \quad (5)$$

Seguindo la misma idea, es posible calcular los valores de  $\pi_c$  utilizando la expresión 6.

$$\pi_c = \frac{N_c}{n} \quad (6)$$

Donde  $n$  es el número total de puntos de datos en el conjunto de datos, independientemente de la curva a la que pertenecen y  $N_c$  se puede calcular utilizando la expresión 7.

$$N_c = \sum_i r_{ic} \quad (7)$$

## 4. Resultados

### 4.1 Modelo de consumo por meses y por horas

Una vez conocida la metodología, se han obtenido dos modelos diferentes de consumo de agua en los edificios de la EPCC, por un lado, un modelo por meses (de enero a diciembre, a partir de los datos del año 2017), y por otro un modelo por horas (en un mismo día). Para el consumo por meses, se introduce al algoritmo el consumo total diario,  $d_i$ , de un determinado mes  $m_j$ .

El modelo nos proporcionará una mezcla de gaussianas que en caso de que el consumo sea muy heterogéneo y cada día de la semana tenga un consumo muy característico, estará formada por seis gaussianas (una por cada día lectivo de la semana, y una para el fin de semana) que podremos utilizar para realizar una estimación. En el caso de que el consumo sea muy homogéneo, y el consumo entre los días lectivos de las semanas del mes no sea muy dispar, obtendremos una mezcla formada por dos curvas, una en baja consumo relativa a días no lectivos y otra que estará modelando el resto de los días del mes.

El número de curvas en la mezcla dependerá de las distintas tendencias de consumo en el mes que introduzcamos al modelo, y no solo nos permitirá realizar predicciones de consumo, sino que además nos permitirá identificar cambios de consumo a lo largo de un mes, períodos con baja frecuencia de asistencia y otros parámetros que se desarrollarán mejor en la sección de resultados y conclusiones.

Por su parte, para el consumo por horas introducimos al modelo todos los valores de consumo a la misma hora durante ese mismo mes para años anteriores. De esta forma, obtendremos una mezcla de gaussianas que estará formada por diferentes curvas dependiendo de las variaciones de consumo a una determinada hora en los datos que se introducen al modelo. Si obtenemos los máximos locales de la mezcla,

es decir, los picos de probabilidad de cada curva que forma la mezcla, obtendremos varios valores de consumo probables para esa misma hora durante ese mismo mes. Por ejemplo, para el mes de noviembre de 2018 obtenemos hasta 3 valores probables de consumo. Si cada uno de estos valores los relacionamos con distintos días de la semana (por ejemplo, el valor de mayor consumo con lunes y martes, el de consumo medio con miércoles y jueves y el de consumo más bajo con el viernes) podremos utilizarlos para realizar una estimación por horas que nos permita conocer si el consumo en tiempo real está siendo excesivo en relación con esa misma hora en años anteriores. Si este proceso lo repetimos para las 24 horas del día, obtendremos varios modelos de predicción de consumo.

#### 4.2 Validación de resultados

En esta sección se presentan algunos de los resultados obtenidos a partir de los modelos de mezcla gaussiana, utilizando para ello los datos proporcionados por el sensor UEXCC\\_INF\\_P00\\_CUA002\\_SEN002\\_AGU ubicado en el edificio de Ingeniería Informática de la EPCC. En las Fig. 6, 7 y 8 se puede observar los modelos de mezclas gaussianas generados a partir de los datos de consumo de agua diario del año 2017 para todos los meses. En las gráficas que se muestran a continuación, la línea roja discontinua representa la mezcla de gaussianas obtenida aplicando el algoritmo EM, en azul continuo la mezcla de gaussianas obtenida sin aplicar el algoritmo EM y en líneas verdes discontinuas las distintas componentes que formarían la mezcla.

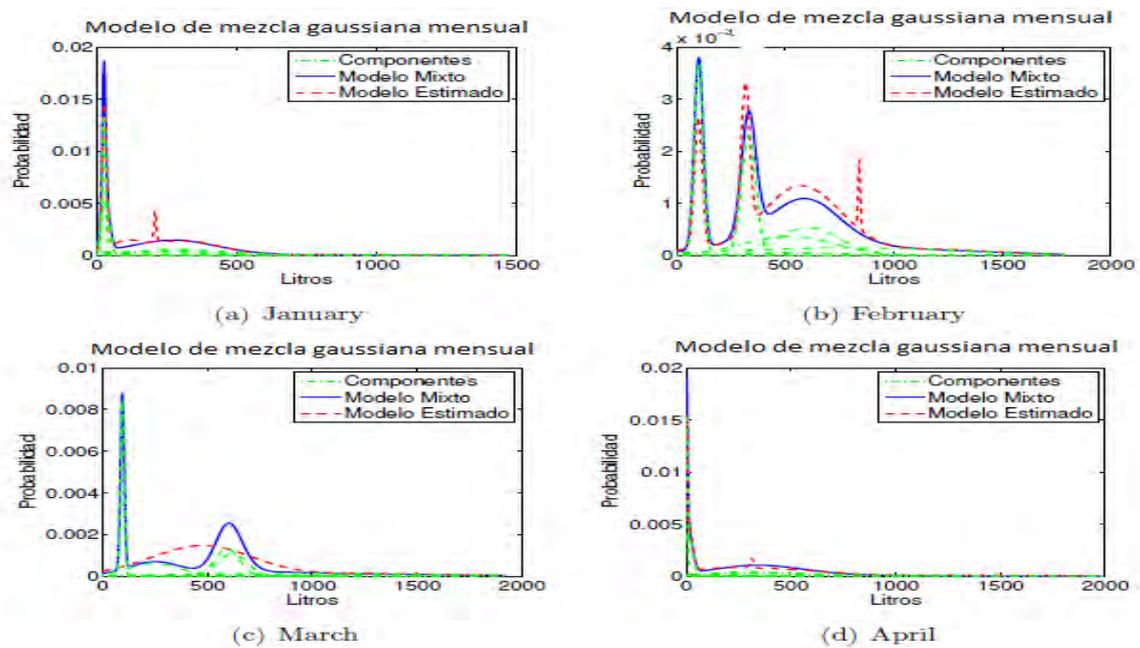


Figura 6: Modelo de Mezcla Gaussiana para el consumo de agua clasificadas por meses (de enero a abril)

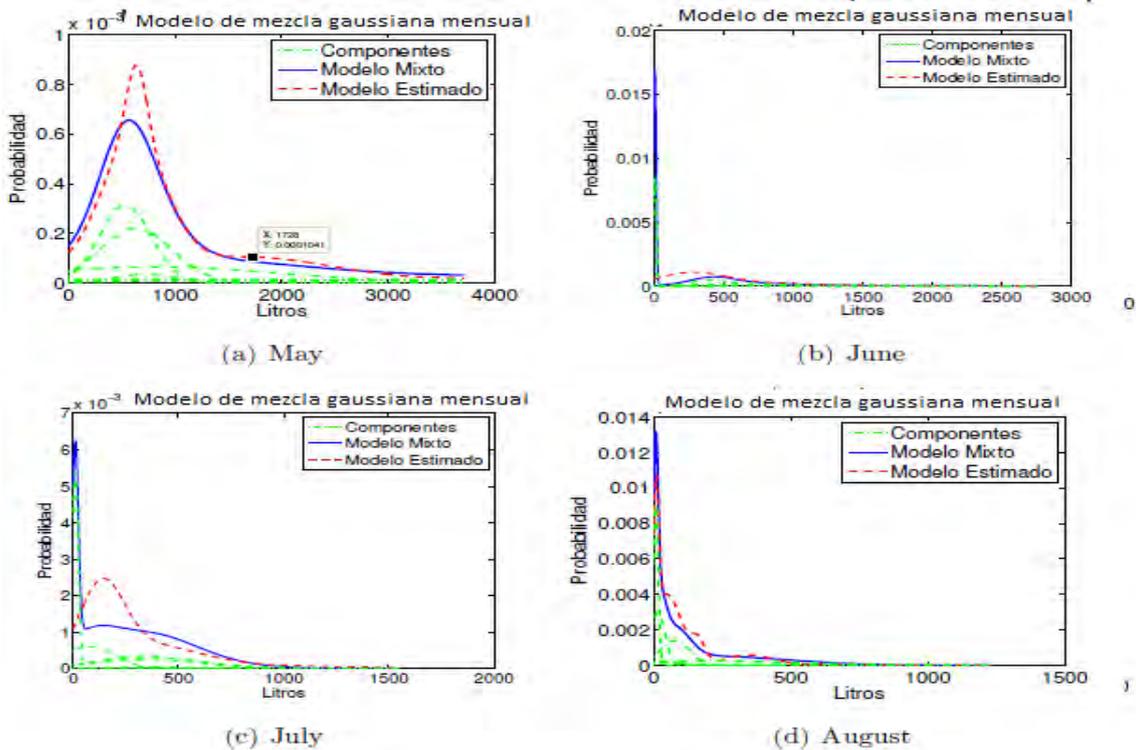


Figura 7: Modelo de Mezcla Gaussiana para el consumo de agua clasificadas por meses (de mayo a agosto)

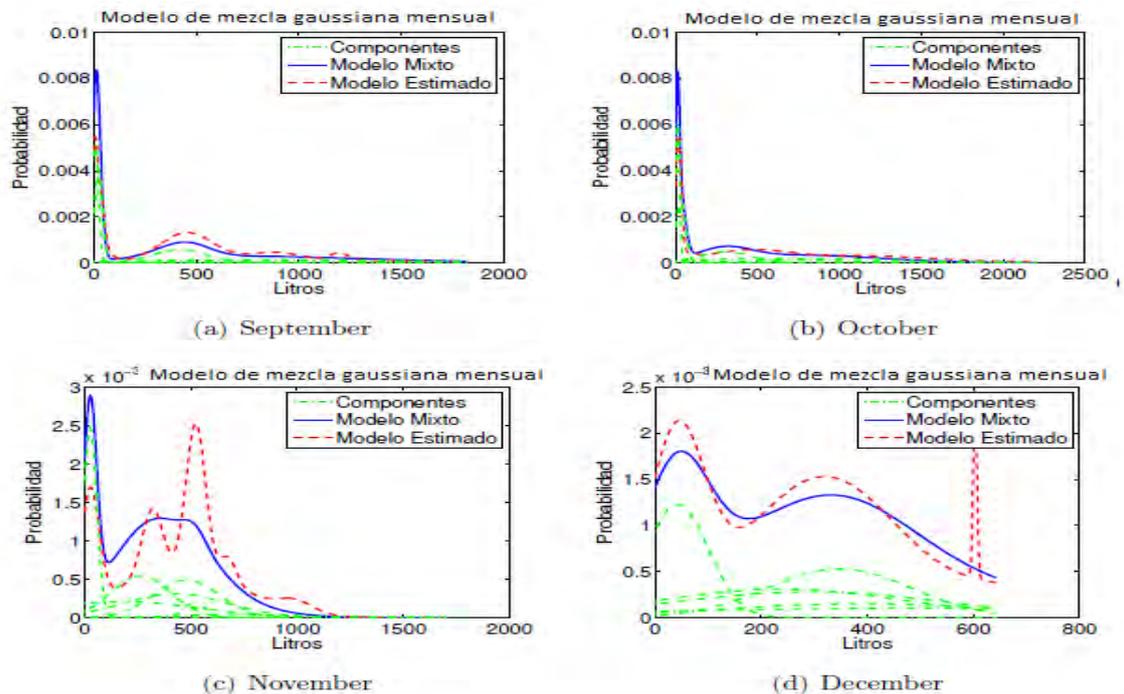


Figura 8: Modelo de Mezcla Gaussiana para el consumo de agua clasificadas por meses (de septiembre a diciembre)

A continuación, se expondrán las predicciones de consumo realizadas para el pabellón de informática de la EPCC. Se presentarán las predicciones de consumo por meses para el año 2018 a partir de los modelos obtenidos con los datos de consumo del año 2017, incluyendo el error ya que son predicciones que han podido ser contrastadas. Además, se presentará la predicción realizada para el año 2019 a partir

de los datos de consumo del año 2017 y 2018. Las predicciones se han obtenido a partir de los parámetros estimados proporcionados por el algoritmo EM. A continuación, se muestran las Tablas 2-4, donde se presentan las predicciones de consumo para el año 2018 (Tabla 2) con su error asociado (Tabla 3) y la predicción de consumo para el año 2019 (Tabla 4).

**Tabla 2: Predicciones de consumo (en litros) para el año 2018**

Month	Year	Consump. Predict. (L)	Consumpt. Predict. $\sigma_{est}$ (+) (L)	Consum p. Predict.	Real Consump. (L)
January	2018	6986	11599	2522	8190
February	2018	13850	18544	10441	9450
March	2018	17262	23602	11249	9880
April	2018	10028	15019	5132	11020
May	2018	41440	94325	56205	15695
June	2018	23580	30936	14200	10790
July	2018	9551	15095	4008	5570
August	2018	2870	4446	2270	1280
Septemb	2018	14622	20164	9133	13980
October	2018	17818	25341	12232	21130
Novembe	2018	11964	16663	7612	18760
Decembe	2018	9943	16667	4727	12340

**Tabla 3: Error relativo en las predicciones de consumo para el año 2018**

Month	Year	Error (%)	Error $\sigma_{est}$ n (+) (%)	Error $\sigma_{est}$ (+) (%)
January	2018	<b>14,00</b>	41,63	69,20
February	2018	46,56	96,23	<b>10,50</b>
March	2018	76,38	138,89	<b>13,86</b>
April	2018	<b>13,40</b>	36,29	53,42
May	2018	153,19	500,99	258,11
June	2018	109,16	186,72	31,61
July	2018	71,48	171,01	28,04
August	2018	124,25	247,35	77,42
September	2018	<b>4,60</b>	44,24	34,66
October	2018	15,67	<b>19,93</b>	42,11
November	2018	36,22	<b>11,17</b>	59,42
December	2018	<b>19,42</b>	35,07	61,69

**Tabla 5: Predicción de consumo para el año 2019 a partir de los datos de 2017 y 2018**

Month	Year	Consump. Predict. (L)	Consump. Predict. $\sigma_{est}$ (-) (L)	Consump. Predict. $\sigma_{est}$ (+) (L)
January	2019	7550,71	2501,34	12956,71
February	2019	12732,14	5531,75	19339,85
March	2019	28303,00	12115,08	44490,92
April	2019	11132,32	3544,92	21546,43

May	2019	28951,79	16353,51	41550,06
June	2019	18205,86	7321,89	27915,26
July	2019	7250,85	2374,95	12126,75
August	2019	2029,09	1092,56	3004,72
September	2019	14032,76	4653,75	23790,20
October	2019	19367,12	5793,17	33212,71
November	2019	14681,54	6421,67	23721,40
December	2019	10529,49	4959,68	16676,55

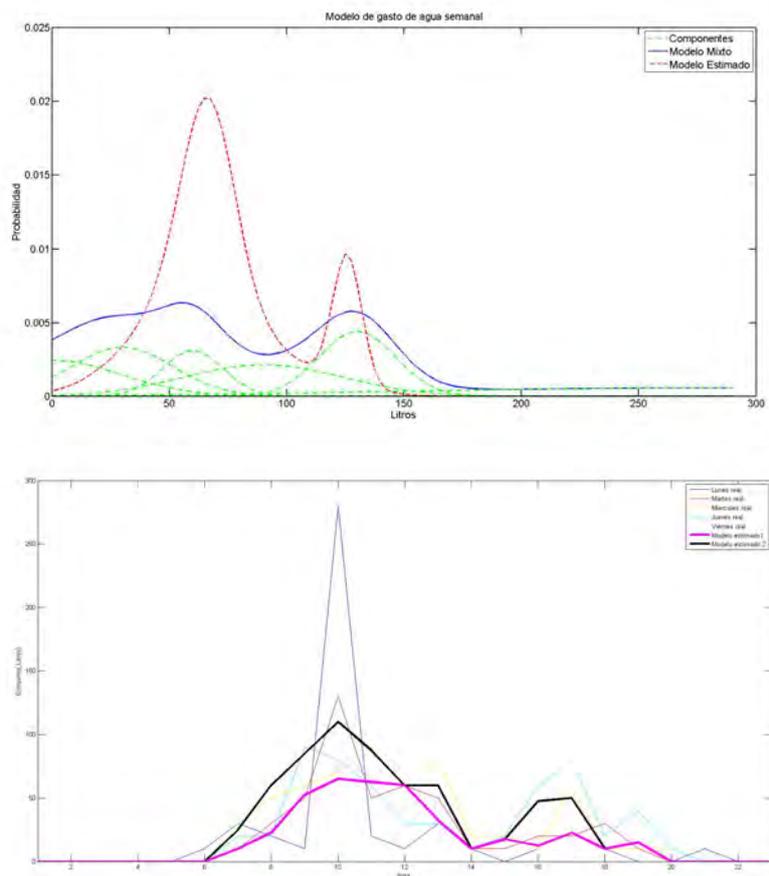
En la Tabla 2 se muestran las tres predicciones posibles además del consumo mensual real obtenido durante 2018. Como se puede comprobar, en la mayoría de los meses las predicciones, ya sea la exacta o las dos obtenidas mediante la utilización de las desviaciones, se acercan al consumo real. Incluso en aquellos meses de 2017 donde había habido consumos exagerados las predicciones utilizando las desviaciones permiten acercarse de manera aproximada a los consumos reales obtenidos.

Sin embargo, en mayo los posibles consumos estimados no se acercan de ningún modo al consumo real. Esto se debe a que hasta el año 2018 la Semana Cultural de la EPCC se había celebrado en el mes de mayo, pero a partir de 2018 dicha semana festiva y llena de actividades se ha celebrado en otra fecha. Por tanto, la predicción para el mes de mayo no será válida hasta que haya una mayor cantidad de datos, o la mezcla se realice a partir de varios meses de mayo de distintos años.

Por otra parte, en la Tabla 3 se puede comprobar el error relativo cometido a partir de las predicciones que se muestran en la Tabla 2. Se puede observar como en la mayoría de meses, usando uno u otro valor de predicción, obtenemos un error menor del 20%. Los únicos meses en los que no se comete un error por debajo del 20% son mayo, junio, julio y agosto, y, a excepción de mayo, el error en estos meses no supera el 30% y ser valores de consumo muy bajos, como en agosto, el error cometido en litros es de unos 1000. Es un error que si en término relativo parece grande, en términos de consumo puede considerarse acertado.

En la Tabla 5 se puede observar las predicciones de consumo mensual obtenidas para el año 2019. Estas predicciones se han obtenido introduciendo al modelo de mezcla los valores de consumo pertenecientes a los años 2018 y 2017, por lo que, si bien no se ha podido comprobar su precisión, se debe suponer que el error cometido con esta predicción será menor que para la predicción de consumo del año 2018. A medida que avance el año se podrá ir comprobando la precisión del método.

La Fig. 9 muestra un ejemplo del modelo de gaussiana por horas y mes, asociada a las 12.00 del mes de enero (arriba) y otra asociada a la misma hora del mes de abril (abajo). De forma similar se realizar un modelo por horas para todos los meses en franjas de una hora.



**Figura 9: Modelo de Mezcla Gaussiana para las 12.00 de abril 2017.**

Si repetimos el proceso para todas las horas posibles durante un día del mes de abril, se puede observar como en la mayoría de mezcla de gaussianas hay dos máximos de probabilidad. De esta forma, podremos obtener un modelo de consumo como el que se muestra en la figura Fig. 7, donde se puede observar las dos tendencias de consumo por horas que proporcionan los modelos de mezcla gaussiana (en negro y fucsia) en comparación con valores de consumo reales del mes de abril de 2018. Se puede comprobar como los valores de consumo reales se adaptan en mayor o medida a los modelos, pero que hay valores de consumo a determinadas horas que superan los valores estimados para esas horas proporcionados por los modelos de mezcla gaussiana. Si el modelo de consumo se compara en tiempo real con los consumos que se están dando se puede lanzar un mensaje de alerta a diferentes plataformas.

## CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El presente artículo detalla el análisis de datos relativos al consumo de agua en la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura dentro del Proyecto de centro *SmartPoliTech*. Este proyecto es una iniciativa creada en dicho centro cuyo objetivo es transformar las instalaciones existentes en un espacio experimental para el estudio, análisis, diseño, implantación y validación de las tecnologías Smart.

Los resultados que se han obtenido en este trabajo para los modelos de mezcla se han usado para predecir el consumo de agua en la EPCC durante los próximos años, con unos errores acotados. De hecho, como se ha mostrado, utilizando únicamente los datos de consumo de agua de un año, se ha conseguido realizar una estimación de consumo con un error relativo menor del 20% para la práctica totalidad de los

meses del año (a excepción de uno de ellos, por unas condiciones particulares, en los que el error no supera el 30%).

Es por ello que se podría considerar el método propuesto como válido para la predicción de consumo en la EPCC. Más aún si tenemos en cuenta que a medida que la cantidad de datos para analizar de la que se disponga aumente, las estimaciones de consumo que se realicen serán más precisas.

No obstante, hay que tener en cuenta que consumos fuera de lo normal o meses en los que el consumo es mínimo pueden alterar la mezcla y los parámetros que ésta nos ofrece, bien porque los datos estén alterados en caso de consumos anormales o bien porque valores de consumos muy cercanos a cero el método puede no converger y dar resultados erróneos.

Como líneas futuras podría plantearse la comparación del algoritmo utilizado con otros algoritmos como *k-means*. Otra línea de trabajo interesante sería aplicar técnicas de *machine learning* y *deep learning* que nos ayuden no solo a predecir o estimar consumos de años posteriores, sino también a identificar distintas tendencias de consumo de agua que se den en la EPCC a lo largo del curso académico, identificar consumos excesivos y evitar que estos influyan en las predicciones de consumo que se realizan.

El método también sería ampliable al resto de sensores que componen *SmartPolitech*, por ejemplo, en los sensores de electricidad, para realizar otras estimaciones de consumo energético que ayuden a reducir el gasto en recursos de la EPCC.

## **Agradecimientos**

Los resultados de este trabajo han sido posibles, en parte, gracias a la colaboración de la Junta de Extremadura a través de su proyecto Efi-public IB16128, GR18133, IB18056.

## **REFERENCIAS**

Azadeh, A., Ghaderi, S, Tarverdian, M. "Integration of artificial neural networks and genetic algorithm to predict electrical energy consumption" . Applied mathematics and computation, 2007.

Caro Huertas, E. & Juan Ruiz, J., "Modelo de Predicción de Demanda de Energía Eléctrica." 2015, Madrid.

Caro Huertas, E. & Santos Navarrete M. "Análisis y Predicción del consumo eléctrico en Baleares". 2016, Madrid

Elena M., Phuong, H., Madelaine G., Wil L. "Deep learning for estimating building energy consumption" Sustainable Energy, Grids and Networks Volume 6, June 2016, Pages 91-99

Kadir K., H., Ceylanb H, R., Kema H., Olcay, E. "Modeling and prediction of Turkey's electricity consumption using Artificial Neural Networks". Energy conservation and management. Elsevier, 2009.

J. MacQueen; "Some methods for classification and analysis of multivariate observations," in Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: Statistics, Berkeley, Calif: University of California Press, 1967, pp. 281–297.

A. Sánchez Domínguez, M. Barrena García, P. García Rodríguez, B. Montalbán Pozas, and P. Bustos García, "SmartPolitech: Un experimento en inmótica social," in XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Base de Datos, La Laguna, 2017.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Pedro Miguel Núñez Trujillo  
Teléfono: +650 56 2456  
E-mail: [pnuntru@unex.es](mailto:pnuntru@unex.es)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



José Alberto España Pérez  
Universidad de Málaga

## DELIMITACIÓN CONCEPTUAL DEL TÉRMINO SMART MOBILITY

### Resumen

La sociedad, las instituciones y las compañías privadas están cada vez más concienciadas de la importancia de cuidar y respetar el medioambiente por medio de modelos más sostenibles de vida. En este nuevo contexto social, medioambiental y tecnológico se están arraigando novedosos conceptos conexos con la *smart city* que evidencian la necesidad de establecer un marco de referencia. Destaca la *smart mobility* que supone un cambio de mentalidad respecto a la idea de transporte y desplazamiento por la ciudad, más allá del empleo de los vehículos con motor de combustión interna. Sin embargo, pese a la omnipresencia del término no existe un concepto inequívoco del mismo, ni siquiera la normativa actual es tajante al respecto. Establecer el marco conceptual de este fenómeno ayudará, como primer paso, a comprender el fenómeno y entender la amplitud del mismo.

**Palabras clave:** *movilidad inteligente; ciudad inteligente; movilidad sostenible*

### Summary

Society, institutions and private companies are increasingly aware of the importance of caring for and respecting the environment through more sustainable models of life. In this new social, environmental and technological context, innovative concepts related to the smart city are being established, which demonstrate the need to establish a frame of reference. Stresses the smart mobility that involves a change of mentality regarding the idea of transport and travel through the city, beyond the use of vehicles with internal combustion engines. However, despite the omnipresence of the term there is no unequivocal concept of it, not even the current regulations are sharp in this regard. Establishing the conceptual framework of this phenomenon will help, as a first step, to understand the phenomenon.

**Keywords:** *smart mobility; smart city; sustainable mobility*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles del espacio urbano.*

## 1. Introducción

En los últimos tiempos se ha vuelto bastante común utilizar el término *smart* para hacer referencia a la introducción de la tecnología a nuestro día a día<sup>1</sup>. La sucesiva aplicación de las tecnologías a los diferentes aspectos del funcionamiento de las ciudades ha generado una gran oleada de anglicismos para designar nuevos fenómenos que se caracterizan por la sostenibilidad y la integración inteligente de los servicios. Uno de ellos es la *smart mobility*, que pese a su continuo uso no existe un concepto normativo del mismo. Por ello, la presente comunicación intenta lograr una aproximación a tal término para encontrar sus patrones y rasgos definitorios como primer paso para abordar el despliegue de la inteligencia artificial a los desplazamientos por la ciudad.

## 2. Delimitación de conceptos

Para poder delimitar conceptualmente la *smart mobility*, en primer lugar, se aporta una definición de la denominada ciudad inteligente (*smart city*) como fenómeno que engloba las diversas aplicaciones de las TIC al propio dinamismo de la urbe, del cual, se ha disgregado la movilidad inteligente y, en gran medida, porque actúa como concepto marco. A partir de tal referenciación se llega al término de *smart mobility*, que aún no goza de autonomía propia. Para ello, se acude a las distintas definiciones normativas aportadas tanto a nivel internacional, comunitario, interno y doctrinal.

### 2.1. El concepto de *smart city*

La paulatina aparición de las innovaciones tecnológicas en su aplicación al desarrollo de las ciudades ha generado la popularización del concepto *smart city*<sup>2</sup>. Un modelo de urbe propicio para lograr una mayor eficiencia, sostenibilidad y mejores cotas de calidad de vida para sus habitantes. En términos generales, la *smart city* se basa en el uso de la tecnología para lograr unos servicios eficientes y sostenibles, sin embargo, a pesar del constante uso del concepto no existe una definición comúnmente aceptada.

El término es relativamente nuevo, abarca distintas posibilidades y se encuentra en constante desarrollo, por lo que es difícil proporcionar una definición válida que englobe la complejidad de este fenómeno. De hecho, el adjetivo “inteligente” o “*smart*” varía ampliamente entre las diferentes aproximaciones conceptuales<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Algunos autores consideran que la estrategia “*smart*” utiliza “la conversión de una necesidad [...] en una mercancía [...]”. Vid., MARCH, H. y RIBERA-FUMAZ, R. (2014). “Una revisión crítica desde la Ecología Política Urbana del concepto Smart City en el Estado español”. *Ecología Política*, núm. 47, pp.34-35. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/43528409> Y sobre el neoliberalismo y el medioambiente, vid., HEYNEN, N., KAIKA, M. y SWYNGEDOUW, E. (2006). “Urban political ecology: politicizing the production of urban natures”, en HEYNEN, N., KAIKA, M. y SWYNGEDOUW, E. *In the Nature of Cities: Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism*. Londres y Nueva York: Routledge, pp. 1-20. Disponible en <https://urbanforensics.files.wordpress.com/2012/09/inthenatureofcities.pdf>

<sup>2</sup> Algunos autores sostienen que el término empezó a utilizarse a principios de los años noventa. Vid., KOMNINOS, N. (2011). “Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence”. *Intelligent Buildings International*, vol. 3, p. 174. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/233470549/download>

<sup>3</sup> Sobre el adjetivo “*smart*”, vid., AL-NASRAWI, S., ADAMS, C. y EL-ZAART, A. (2015). “A conceptual multidimensional model for assessing smart sustainable cities”. *JISTEM, Journal of Information Systems and Technology Management*, vol. 12, núm. 3, pp. 543-544. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6486517>

A nivel internacional, la ONU ha precisado el término y lo ha hecho con base en un informe de la Unión Internacional de Telecomunicaciones<sup>4</sup>. Para Naciones Unidas las infraestructuras inteligentes otorgan a esas ciudades la posibilidad de dar un salto tecnológico de gran magnitud, ya que esas instalaciones “constituyen los cimientos de todos los temas principales relacionados con la ciudad inteligente”<sup>5</sup>, siendo los principales componentes de la infraestructura de este tipo de ciudad los edificios, la movilidad, el bienestar, la gestión del agua y de los residuos y, por supuesto, la inteligencia energética, según el organismo internacional.

La Unión Europea, ya en el año 2013, dio a conocer el primer borrador para la implementación de la ciudad inteligente<sup>6</sup>, el cual, concentraba sus ámbitos de acción en la energía, la movilidad y las TIC<sup>7</sup>. En los últimos tiempos, el concepto ha ganado una gran visibilidad como parte de la Estrategia 2020<sup>8</sup>. Sin embargo, la noción para la Unión ha ido cambiando de forma paulatina a lo largo de los años y su campo de acción se ha focalizado en diversas áreas. De hecho, para la Comisión Europea el concepto de *smart city* supone ir más allá del uso de las TIC<sup>9</sup>.

Para el Parlamento Europeo las ciudades inteligentes ostentan un papel fundamental para cumplir con los objetivos marcados para 2020. En un informe emanado de esta institución se define a las ciudades inteligentes como “una ciudad que busca abordar las cuestiones públicas a través de soluciones basadas en las TIC sobre la base de una asociación multisectorial, basada en el municipio”<sup>10</sup>. Pero la institución europea usa una

<sup>4</sup> En el informe se analizaron más de cien definiciones relativas a la idea de ciudad inteligente y finalmente se optó por la siguiente: “una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que aprovecha las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia del funcionamiento y los servicios urbanos y la competitividad, respondiendo al mismo tiempo a las necesidades de las generaciones presentes y futuras en lo que respecta a los aspectos económicos, sociales y medioambientales”. Vid., INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. (2014). *Smart sustainable cities: An analysis of definitions*. Focus Group Technical Report. Disponible en <https://www.itu.int/en/ITU-T/.../ssc/.../TR-Definitions.docx>

<sup>5</sup> CONSEJO ECONÓMICO Y SOCIAL DE NACIONES UNIDAS. Comisión de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. (2016). *Ciudades e infraestructuras inteligentes*, p. 4. [E/CN.16/2016/2].

Disponible en [http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ecn162016d2\\_es.pdf](http://unctad.org/meetings/es/SessionalDocuments/ecn162016d2_es.pdf)

<sup>6</sup> COMISIÓN EUROPEA. (2012). *European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities*. [C(2012) 4701]. Disponible en <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/smart-cities-and-communities-european-innovation-partnership-communication-commission-c2012>

<sup>7</sup> Según Pérez Prada y otros autores: “se trataba de una visión centrada en la tecnología, la innovación y la industria la cual no buscaba tratar los tres ámbitos por separado, sino integrarlos”. Vid., PÉREZ PRADA, F., VELÁZQUEZ ROMERA, G., FERNÁNDEZ AÑEZ, V. y DORAO SÁNCHEZ, J., *op. cit.*, p.114.

<sup>8</sup> La Agenda Europa 2020 es la estrategia de crecimiento y empleo de la Unión Europea que enfatiza en el crecimiento inteligente, sostenible e inclusivo como una manera de superar las debilidades de la economía de la Unión, mejorar su competitividad y productividad. Vid., COMISIÓN EUROPEA. (2010). *EUROPA 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. [COM(2010) 2020]. Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52010DC2020>

<sup>9</sup> Según se dispone en la web oficial de la Comisión Europea sobre *smart cities*: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/smart-cities>.

<sup>10</sup> MANVILLE, C., COCHRANE, G., CAVE, J., MILLARD, J. [et al.], (2014). *Mapping Smart Cities in the EU*.

Disponible en

[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOLITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOLITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)

metodología específica para poder hablar de ciudad inteligente. Considera como tal, aquella que reúne uno o más de los siguientes patrones característicos: *smart economy*<sup>11</sup>, *smart people*<sup>12</sup>, *smart mobility*<sup>13</sup>, *smart environment*<sup>14</sup>, *smart governance*<sup>15</sup> y *smart living*<sup>16</sup>. Es decir, para Europa la *smart city* se define por seis elementos principales: economía, personas, movilidad, medioambiente, gobernanza y hábitat. De modo que para que una ciudad puede ser estimada inteligente deberá contar con algunas de las anteriores particularidades<sup>17</sup>.

A nivel interno, en el año 2012 el Estado creó la denomina Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI)<sup>18</sup>. Para esta asociación una *smart city* es la que dispone de “un sistema de innovación y de trabajo en red para dotar a las ciudades de un modelo de mejora de la eficiencia económica y política permitiendo el desarrollo social, cultural y urbano”<sup>19</sup>. Además, y en consonancia con la Estrategia 2020, España ha diseñado el Plan de Ciudades Inteligentes<sup>20</sup>, que contempla la definición aportada por el Parlamento

<sup>11</sup> Se refiere a las medidas que utilizan las ciudades para atraer inversiones y población que incrementen su PIB. Con la incorporación de las TIC se crean nuevos servicios y productos que potencian diferentes e innovadores modelos de negocio.

<sup>12</sup> Se refiere a la formación de los ciudadanos para lograr el empoderamiento de éstos en habilidades digitales o aspectos relacionados con la tecnología aplicada a las ciudades.

<sup>13</sup> Se alude al uso de la tecnología en el sistema de transporte y logístico para que éste sea más eficiente y respetuoso con el medioambiente. Supone el fomento del transporte público, la apuesta por una movilidad limpia o la introducción de vehículos ecológicos, entre otros aspectos.

<sup>14</sup> Contempla medidas para reducir la contaminación y mejorar la sostenibilidad que ayude a crear un entorno más verde, limpio y eficiente. En esta clasificación se incluiría el impulso de las redes eléctricas inteligentes, la introducción de los sistemas de medición inteligentes de consumo de energía y agua, o la edificación y planeamiento sostenible, entre otras.

<sup>15</sup> Con tal término se alude a las medidas para lograr un gobierno y una administración abierta y accesible a la ciudadanía, ya sea desde la consecución de una administración electrónica, la agilización y modernización administrativa o la mayor participación de los ciudadanos en la gestión pública.

<sup>16</sup> La *smart living* engloba servicios de seguridad como la videovigilancia inteligente, servicios sanitarios como la teleasistencia o la gestión más eficientes de las emergencias sanitarias.

<sup>17</sup> Asimismo, el *IESE Business School* de la Universidad de Navarra utiliza diez dimensiones para clasificar y estudiar las ciudades inteligentes (tomando como referencia el Índice *Cities in Motion*). Entre esos parámetros se encuentra la economía, el capital humano, la tecnología, el medioambiente, la cohesión social, la movilidad y el transporte, la gobernanza, la proyección internacional, la gestión pública y la planificación urbana. La categorización realizada por el IESE es más amplia que la propuesta por la Unión Europea, pero, en gran medida, tienen en cuenta los mismos parámetros. Vid., IESE BUSINESS SCHOOL. (2018). *Índice IESE Cities in Motion*.

Disponible en [https://www.iese.edu/research/pdfs/ST-0471-E.pdf?\\_ga=2.268117065.618944467.1537186119-1245276818.1537186119](https://www.iese.edu/research/pdfs/ST-0471-E.pdf?_ga=2.268117065.618944467.1537186119-1245276818.1537186119)

<sup>18</sup> La Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI) tiene como objetivo principal “crear una red abierta para propiciar el progreso económico, social y empresarial de las ciudades a través de la innovación y el conocimiento, apoyándose en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC)”, según se dispone en su web oficial. La asociación, formada por 65 ciudades, pretende establecer una dinámica entre ciudades para promover la gestión inteligente de éstas. Vid., <http://www.redciudadesinteligentes.es/>

<sup>19</sup> Definición obtenida de la web oficial de la Red Española de Ciudades Inteligentes (RECI): <http://www.redciudadesinteligentes.es/index.php/sobre-la-red/quienes-somos>.

<sup>20</sup> Dicho Plan se enmarca en la Agenda Digital para España (ADpE), aprobada en febrero de 2013, la cual, reconoce a las ciudades inteligentes un papel importante. Este programa se considera la hoja de ruta en materia de tecnologías de la información y las comunicaciones y de Administración Electrónica para cumplir con los objetivos de la Agenda Digital para Europa en 2020. Vid., GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2013).

*Agenda Digital para España*. Disponible en [http://www.agendadigital.gob.es/agendadigital/recursos/Recursos/1.%20Versión%20definitiva/Agenda Digital para España.pdf](http://www.agendadigital.gob.es/agendadigital/recursos/Recursos/1.%20Versión%20definitiva/Agenda%20Digital%20para%20Espana.pdf)

europeo<sup>21</sup>, pero hace suya la propuesta de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR)<sup>22</sup>.

En el plano doctrinal, inicialmente, la ciudad inteligente se asociaba exclusivamente con la idea de aplicar las TIC a los servicios urbanos, sin embargo, actualmente, se entiende que la noción abarca multitud de ejes de acción<sup>23</sup>. En este sentido, hay autores que consideran que la *smart city* tiene diferentes dimensiones conceptuales como la tecnológica, la humana e institucional<sup>24</sup>. Así, la literatura sobre el concepto de viene apostando por un término amplio, más inclusivo, que no sólo se centra en el papel de las tecnologías, sino que también resalta el protagonismo del ciudadano en el desarrollo de este modelo de metrópolis<sup>25</sup>. PÉREZ PRADA considera que “la smart city o ciudad inteligente se define como un sistema holístico que interactúa con el capital humano y social utilizando soluciones basadas en las TIC”<sup>26</sup>.

<sup>21</sup> Asimismo, el Plan asume la dificultad de aportar un concepto inequívoco de la *smart city*, aunque “puede convenirse que la aplicación de las TIC para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y asegurar un desarrollo económico, social y ambiental sostenible son elementos comunes a todas las definiciones. Por otra parte, el concepto exige una nueva relación con ciudadanos, turistas, proveedores y trabajadores públicos basada en la transparencia, la rendición de cuentas, el adecuado uso y consumo de los recursos y la identificación temprana de necesidades”. Vid., GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2015).

*Plan Nacional de Ciudades Inteligentes*. Disponible en [http://www.agendadigital.gob.es/planes-actuaciones/Bibliotecaciudadesinteligentes/Detalle%20del%20Plan/Plan\\_Nacional\\_de\\_Ciudades\\_Inteligentes\\_v2.pdf](http://www.agendadigital.gob.es/planes-actuaciones/Bibliotecaciudadesinteligentes/Detalle%20del%20Plan/Plan_Nacional_de_Ciudades_Inteligentes_v2.pdf)

<sup>22</sup> AENOR considera que “una ciudad inteligente es la visión holística de una ciudad que aplica las TIC para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinar y se adapta en tiempo real a sus necesidades, de forma eficiente en calidad y costes, ofreciendo datos abiertos, soluciones y servicios orientados a los ciudadanos como personas, para resolver los efectos del crecimiento de las ciudades, en ámbitos públicos y privados, a través de la integración innovadora de infraestructuras con sistemas de gestión inteligente”.

<sup>23</sup> Vid., MARCH, H. y RIBERA-FUMAZ, R., *op. cit.*, pp. 29-36. Y SCHUURMAN, D., BACCARNE, B., DE MAREZ, L. y MECHANT, P. (2012). “Smart Ideas for Smart Cities Investigating Crowdsourcing for Generating and Selecting Ideas for ICT Innovation in a City Context”. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, vol. 7, núm. 3, pp. 49-62. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4357121&orden=408480&info=link>.

<sup>24</sup> Para NAM y PARDO las transformaciones impulsadas por las nuevas tecnologías no pueden dejar de considerar los factores sociales, ya que son fundamentales para el desarrollo de una ciudad inteligente. En este sentido, apuesta por una visión socio-técnica de la *smart city*. Vid., NAM, T. y PARDO, T.A. (2011). *Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions*. The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research. Disponible en [https://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/dgo\\_2011\\_smartcity.pdf](https://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/dgo_2011_smartcity.pdf)

<sup>25</sup> Caragliu ofrece una definición bastante completa al incluir en ella las TIC, el crecimiento económico sostenible, la calidad de vida de los habitantes y la gestión eficiente de los recursos naturales. Vid., CARAGLIU, A., DEL BO, C., NIJKAMP, P. (2000). *Smart cities in Europe*. III Central European Conference in Regional Science, pp. 45-49.

Disponible en [http://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/01\\_03\\_Nijkamp.pdf](http://inta-aivn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/01_03_Nijkamp.pdf)

<sup>26</sup> PÉREZ PRADA, F., VELÁZQUEZ ROMERA, G., FERNÁNDEZ AÑEZ, V. y DORAO SÁNCHEZ, J. (2015). “Movilidad inteligente”. *Economía industrial*, núm. 395, p.121. Disponible en

[http://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/Revista\\_EconomiaIndustrial/395/FIAMMA%20PEREZ%20y%20OTROS.pdf](http://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/Revista_EconomiaIndustrial/395/FIAMMA%20PEREZ%20y%20OTROS.pdf)

En consonancia con las variadas aportaciones realizadas por la doctrina se constata como el concepto se ha construido en torno a dos elementos principales: la sostenibilidad y el papel de las TIC. No obstante, destaca la falta de consenso existente para establecer un concepto único de la *smart city*, si bien es cierto, que esto no obsta para que haya una aproximación global a la esencia del término.

## 2.2. El concepto de *smart mobility* y movilidad sostenible

La ciudad inteligente propugna la movilidad como un elemento esencial de la misma, de hecho, una adecuada gestión de ésta es fundamental para reducir los continuos problemas que se generan por el transporte y los masivos desplazamientos en los núcleos urbanos<sup>27</sup>. Así, la movilidad inteligente constituye una oportunidad única para lograr una verdadera ciudad inteligente, mejorar la planificación de las redes de transporte y lograr un mayor respeto del entorno<sup>28</sup>.

A nivel normativo, resulta complejo encontrar una definición para esta nueva forma de concebir la movilidad en las ciudades. La ONU, por su parte, no ha detallado un concepto inequívoco de lo que deba entenderse por *smart mobility*, sino que sus principales esfuerzos se han concentrado en la ciudad inteligente y sus elementos característicos. Pero esto no quiere decir que la cuestión no despierte interés para el organismo internacional, de hecho, la movilidad es uno de sus ámbitos estratégicos. Pese a que no ha aportado una definición homogénea sí ha resaltado los objetivos de esta nueva forma de desplazarse por la ciudad. Considera que la *smart mobility* pretende reducir los atascos y fomentar un transporte más rápido, económico y ecológico.

Desde el ámbito comunitario, ya se ha expuesto como el Parlamento Europeo considera la movilidad inteligente como una de las características de la *smart city*, dentro de la metodología propuesta por la institución que clasifica a este modelo de urbe en diferentes patrones. En esta categorización la tecnología se usa, de forma integrada y eficaz, para conseguir un sistema de transporte y logístico eficiente y respetuoso con el medioambiente<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> De hecho, el transporte es el responsable del 20 por ciento de las emisiones de CO<sub>2</sub> a escala mundial según datos de la Agencia Internacional de la Energía sobre emisiones de CO<sub>2</sub> originadas por la quema de combustible. Disponible en <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.CO2.TRAN.ZS>

<sup>28</sup> También se empezó a utilizar el término *smart road* que se asimila al de carretera inteligente y que busca dar satisfacción a las necesidades de transporte por carretera de viajeros y mercancías aplicando las últimas innovaciones tecnológicas. En ocasiones se asocia este concepto a las carreteras capaces de generar energía solar (pavimento fotovoltaico) o monitorear el propio estado de la vía. Aunque entendemos y, así lo considera la Unión Europea, que el término *smart mobility* es mucho más amplio y engloba implícitamente las características de la *smart road*.

<sup>29</sup> “Por Smart Mobility nos referimos a sistemas de transporte y logística integrados y apoyados por las TIC. Por ejemplo, los sistemas de transporte sostenibles, seguros e interconectados pueden abarcar tranvías, autobuses, trenes, metros, automóviles, ciclos y peatones en situaciones que utilicen uno o varios modos de transporte. La movilidad inteligente prioriza las opciones limpias y a menudo no motorizadas. La información relevante y en tiempo real puede ser accedida por el público para ahorrar tiempo y mejorar la eficiencia de los trayectos, ahorrar costos y reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como a los gestores de transporte de red para mejorar los servicios y proporcionar retroalimentación a los ciudadanos. Los usuarios del sistema de movilidad también podrían proporcionar sus propios datos en tiempo real o contribuir a la planificación a largo plazo”. Vid., MANVILLE, C., COCHRANE, G., CAVE, J., MILLARD, J. [ *et al.*], *op. cit.* 28.

España, por su parte, no ha apostado normativamente por un concepto propio de movilidad inteligente, al igual que ocurría con el término *smart city*; más bien se podría decir que se deja llevar por las consideraciones europeas en cuanto a la noción de *smart mobility*<sup>30</sup>. Tampoco la planificación española que contempla la movilidad inteligente no se pronuncia sobre el concepto. En concreto, llama la atención que el reciente Plan de Innovación para el Transporte y las Infraestructuras<sup>31</sup> no ofrece una definición de movilidad inteligente pese a la omnipresencia de tal noción a lo largo de todo el documento.

Para colmar este vacío normativo es necesario acudir a la doctrina para verificar que entiende ésta por *smart mobility*. Así, encontramos que el término no es nuevo, sino que comenzó a utilizarse a principios de los años noventa para referirse a una ciudad con un sistema de movilidad cada vez más dependiente de la tecnología y de la innovación<sup>32</sup>. Es comúnmente aceptado que la denominada *smart mobility* es uno de los pilares fundamentales de la *smart city* al focalizarse en todo lo relacionado con el tráfico y la movilidad de los habitantes en las ciudades<sup>33</sup>, y es que “[a] menudo la noción de *smart city* ha sido vinculada a la mejora de las condiciones de movilidad en la ciudad”<sup>34</sup>.

Este desmembramiento del término ciudad inteligente en distintas funcionalidades como la movilidad adquiere relevancia en la actual sociedad debido al aumento de la demanda de transporte y movimiento en las grandes urbes que ha desencadenado una dinámica insostenible desde el enfoque social y ambiental<sup>35</sup>. La *smart mobility* aboga por una movilidad sostenible que garantice de manera eficiente el transporte, la gestión del aparcamiento, la accesibilidad y los problemas ambientales. Pese a la importancia de este concepto, la doctrina no ha reparado en aportar una completa definición que resuma sus características definitorias y que sirva como referente para el establecimiento de políticas públicas que desarrollen esta nueva forma de concebir los desplazamientos urbanos. Se podría decir más bien que es un concepto que se encuentra en creación y abierto a las distintas posibilidades que ofrecen las innovaciones tecnológicas. Los esfuerzos, en este sentido, se han focalizado en intentar

<sup>30</sup> Destaca que la vigente Ley de Tráfico, reformada hace pocos años, no se pronuncie sobre la movilidad ni las nuevas formas desplazamiento en las ciudades. En ningún momento utiliza el término de movilidad inteligente.

<sup>31</sup> GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Fomento. (2018). *Plan de Innovación para el Transporte y las Infraestructuras (2018-2020)*. Disponible en [https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/66DE13DA-C640-4FB7-B83A-E8E9C6A2FD70/149597/plan\\_de\\_innovacion\\_20182020.pdf](https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/66DE13DA-C640-4FB7-B83A-E8E9C6A2FD70/149597/plan_de_innovacion_20182020.pdf)

<sup>32</sup> PAPA, E. y LAUWERS, D. (2015). *Smart mobility: Opportunity or threat to innovate places and Cities*. 20th International Conference on Urban Planning and regional Development in the Information Society. Belgium, Competence Center of Urban and Regional Planning. Disponible en: [http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/16363/1/CORP2015\\_46-1.pdf](http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/16363/1/CORP2015_46-1.pdf)

<sup>33</sup> Según el Parlamento Europeo, las acciones relacionadas con el medioambiente y la movilidad son los más comunes con el 33 por ciento y el 21 por ciento de las iniciativas inteligentes, respectivamente. Vid., MANVILLE, C.; COCHRANE, G.; CAVE, J.; MILLARD, J. [ *et al.* ], *op. cit.*, p. 32.

<sup>34</sup> GÓMEZ JIMÉNEZ, M.L. (2015). “Smart cities vs. Smart governance: ¿dos paradigmas de interrelación administrativa no resueltos aún?”. *Revista de derecho urbanístico y medio ambiente*, núm. 300, p.52. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/283730513>

<sup>35</sup> Aunque suele utilizarse de forma indistinta y como sinónimos, suele entenderse que la movilidad es un término más amplio que el de transporte. Con movilidad nos referimos al desplazamiento de personas o mercancías por cualquier medio. En cambio, al hablar de transporte se alude a los medios mecánicos que se emplean para trasladar a personas, principalmente. Vid., RODRÍGUEZ BUSTAMANTE, P. *Datos abiertos y movilidad. La movilidad no es sólo transporte*. III Congreso Ciudades Inteligentes. Disponible en <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-datos-abiertos-movilidad-la-movilidad-no-solo-transporte>

una aproximación conceptual de la ciudad inteligente y utilizar ésta por remisión para definir la *smart mobility*, carente, aún, de una noción autónoma.

A nivel institucional, la apuesta por la llamada movilidad sostenible ha sido más potente que por la *smart mobility*, al menos, en cuanto a la utilización de su término y hasta la fecha presente. Aun así, no existe un concepto único de movilidad sostenible, ni ley proveniente del Estado que regule tal materia<sup>36</sup>, aunque algunas Comunidades Autónomas han aprobado normas sobre la misma, como es el caso de la Ley catalana de movilidad<sup>37</sup>. De hecho, los planes de movilidad urbana sostenible se han convertido en una herramienta presente en multitud de municipios de nuestro país. El Plan Estratégico de Infraestructuras y Transportes (PEIT) señalaba los planes de movilidad sostenible como un instrumento de actuación en relación con los sistemas de transporte, al igual que hace el Plan de Infraestructuras de Transportes y Vivienda (PITV)<sup>38</sup>. Y la Estrategia de Movilidad Sostenible<sup>39</sup> también contempla la implantación de los referidos planes como actuación en el medio urbano. A nivel normativo, la Ley de Economía Sostenible obliga a los ayuntamientos que quieran obtener subvenciones del Estado al transporte público urbano a disponer de un Plan de Movilidad Urbana Sostenible, lo que ha propiciado que aumente la elaboración de este instrumento por parte de los municipios<sup>40</sup>.

<sup>36</sup> En este sentido, la Ley de Economía Sostenible señala los principios básicos de la materia, pero no define de manera explícita el concepto de movilidad sostenible. Asimismo, tanto la mencionada Ley (Disposición adicional decimonovena) como la Ley de calidad del aire y protección de la atmósfera (Disposición adicional séptima) llaman a la elaboración de una ley estatal de movilidad sostenible.

<sup>37</sup> La Ley 9/2003, de 13 de junio, de la movilidad, define la movilidad sostenible en su artículo 4 de la siguiente manera: “movilidad que se satisface en un tiempo y con un coste razonables y que minimiza los efectos negativos sobre el entorno y la calidad de vida de las personas”. En Andalucía el Consejo de Gobierno aprobó, el 16 de septiembre de 2014, el Anteproyecto de Ley Andalucía de Movilidad Sostenible, que aún continúa en tramitación. El texto opta por una definición de movilidad sostenible bastante parecida a la que se recoge en la Estrategia nacional de Movilidad Sostenible, aunque de forma más amplia. Así, el artículo 1 del Anteproyecto establece que: “se entiende por movilidad sostenible el conjunto de procesos y acciones orientados a que el desplazamiento de personas y mercancías que facilitan el acceso a los bienes, servicios y relaciones se realicen con el menor impacto ambiental posible, contribuyendo a la lucha contra el cambio climático, al ahorro y a la eficiencia energética, y a la reducción de la contaminación acústica y atmosférica”. Vid., Anteproyecto de la Ley andaluza de Movilidad Sostenible, disponible en <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/Anteproyecto%20de%20Ley%20de%20Movilidad%20Sostenible.pdf>

<sup>38</sup> VEGA PINDADO, P. (2016). “Una década de planes de movilidad urbana sostenible en España 2004-2014”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, núm. 36(2), pp. 351-372. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/53589/49107> Además, GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Fomento. (2015). *Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte (PEIT)*. Disponible en <https://www.fomento.es/plan-estrategico-de-infraestructuras-y-transporte-peit>. Y GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Fomento. (2012). *Plan de Infraestructuras Transporte y Vivienda (PITVI) 2012-2024*. Disponible en <https://www.fomento.gob.es/planes-estrategicos/2024/pitvi-2012/2024/plan-de-infraestructuras-transporte-y-vivienda-pitvi-2012/plan-de-infraestructuras-transporte-y-vivienda-pitvi-2012-2024>

<sup>39</sup> GOBIERNO DE ESPAÑA. Ministerio de Fomento. (2009). *Estrategia Española de Movilidad Sostenible*. Disponible en [https://www.fomento.es/recursos\\_mfom/pdf/149186F7-0EDB-4991-93DD-CFB76DD85CD1/46435/EstrategiaMovilidadSostenible.pdf](https://www.fomento.es/recursos_mfom/pdf/149186F7-0EDB-4991-93DD-CFB76DD85CD1/46435/EstrategiaMovilidadSostenible.pdf)

<sup>40</sup> Vega Peinado sostiene que “[...] la norma hizo que se aprobaran en ese año el 22% de los Planes. Este nuevo marco regulador delegó en las corporaciones locales, no sólo la decisión de realizar o renovar los PMUS, sino también el compromiso presupuestario para su desarrollo y ejecución. Pero esta medida continúa sin incluir mecanismos de control: no se revisan los

## CONCLUSIONES

1. La *smart mobility* se inserta en un concepto amplio: ciudad inteligente. Pero no existe una definición única sobre ésta, aunque la falta de consenso en torno a la misma no es óbice para que su esencia y sus elementos definitorios estén meridianamente claros para la doctrina. La innovación constituye el eje vertebral del término, a partir de ahí, entran en juego aspectos comunes como la sostenibilidad, el respeto al entorno, la eficiencia de los recursos o la mejora de las infraestructuras. No obstante, es preciso indicar que se ha transitado de un concepto originario que apostaba por la sola aplicación de las TIC a los servicios urbanos hacia un término más amplio e inclusivo que toma en consideración diversos ámbitos de acción. Por ello, en la actualidad, se apuesta por una visión holística del concepto.

La producción científica doctrinal en cuanto a la aproximación conceptual a la *smart city* contrasta con su plasmación normativa. Las principales aportaciones en este sentido se encuentran a nivel internacional, con especial protagonismo de la Unión Europea, que en los últimos tiempos ha apostado fuertemente por este fenómeno como así se refleja en sus políticas. De hecho, Europa ensalza la ciudad inteligente como medio para cumplir con sus ambiciosos objetivos medioambientales. Es más, actualmente, el Parlamento Europeo apuesta por un concepto de ciudad inteligente disgregado en varias características: economía, personas, movilidad, medioambiente, gobernanza y hábitat. A nivel interno, no se localiza un concepto normativo de *smart city* pese a que esto es un objetivo establecido en la planificación nacional.

2. Centrándonos en uno de los aspectos de ese concepto marco, resulta complejo encontrar una definición para la movilidad inteligente, aunque el término está presente en las diferentes estrategias internacionales y nacionales. Desde el ámbito comunitario, la Unión Europea considera la *smart mobility* como una de las características de la ciudad inteligente. Es más, es el único organismo que ofrece una definición bastante completa, aunque en íntima relación con la ciudad inteligente. En España no se ha apostado normativamente por un concepto propio, sino que se camina en consonancia con las directrices europeas del término. Ni siquiera en la planificación estatal se encuentra una definición sobre la noción, pese a referirse a ella en multitud de ocasiones. Así, no existe un concepto único o legal de la llamada *smart mobility*. Los intentos de conceptualizar normativamente la noción son nulos tanto a nivel comunitario como interno.

Contrasta el empleo en la normativa interna de otro concepto íntimamente relacionado: la movilidad sostenible. Su significado no dista en exceso de lo que se entiende por *smart mobility*, de hecho, un sistema de movilidad inteligente se entiende que tiene que ser sostenible. Ambas ideas guardan una gran semejanza y comparten los mismos objetivos, aunque en la noción de *smart mobility* la referencia a las tecnologías es indudable. No obstante, pese a la preferencia del término movilidad sostenible por el legislador, esta tendencia está cambiando actualmente y se apuesta por el término “inteligente” como una noción más amplia y acorde con el contexto actual. Así, la movilidad inteligente se relaciona con la tecnología y la movilidad sostenible con el medioambiente. Una movilidad inteligente debe ser limpia, eficiente e interconectada; un término que aúna las múltiples posibilidades de las tecnologías y la protección al entorno para la consecución de los objetivos de eficiencia y sostenibilidad.

contenidos de los Planes, no se valora la sostenibilidad de las medidas que incluyen, ni tampoco su cumplimiento”. Vid., VEGA PEINADO, P., *op. cit.*, p.370.

Aun así, es preciso indicar que el concepto de *smart mobility* se encuentra en creación y abierto a las diferentes posibilidades que ofrecen las innovaciones tecnológicas. Los esfuerzos se han centrado en apostar por una definición de la ciudad inteligente y utilizar ésta por remisión para definir la *smart mobility*, que no goza todavía de una noción autónoma.

## BIBLIOGRAFÍA

AL-NASRAWI, S., ADAMS, C. y EL-ZAART, A. (2015). "A conceptual multidimensional model for assessing smart sustainable cities". *JISTEM, Journal of Information Systems and Technology Management*, vol. 12, núm. 3, pp. 541-558. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6486517>

AVILA RODRÍGUEZ, C.M. (2015). "Aspectos jurídicos introductorios y políticas europeas sobre transportes", en GONZÁLEZ RÍOS, I. *Estudios jurídicos hispanos-lusos de los servicios en red (Energía, telecomunicaciones y transportes) y su incidencia en los espacios naturales protegidos*. Madrid: Dykinson, pp. 425-450.

ÁVILA RODRÍGUEZ, C.M. (2010). "La protección extrajudicial de los datos personales en la actividad de la Administración electrónica". *Justicia administrativa: Revista de derecho administrativo*, núm. 48, pp. 27-60.

CARAGLIU, A., DEL BO, C., NIJKAMP, P. (2000). *Smart cities in Europe*. III Central European Conference in Regional Science, pp. 45-49. Disponible en [http://inta-aijn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/01\\_03\\_Nijkamp.pdf](http://inta-aijn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/01_03_Nijkamp.pdf)

FORTES MARTÍN, A. (2018). "Los retos actuales del transporte en la ciudad. El nuevo paradigma de la movilidad sostenible en los desplazamientos urbanos", en GONZÁLEZ RÍOS, I. (Dir.) *Servicios de interés general y protección de los usuarios: (educación, sanidad, servicios sociales, vivienda, energía, transportes y comunicaciones electrónicas)*. Madrid: Dykinson, pp. 475-499.

GÓMEZ JIMÉNEZ, M.L. (2015). "Smart cities vs. Smart governance: ¿dos paradigmas de interrelación administrativa no resueltos aún?". *Revista de derecho urbanístico y medio ambiente*, núm. 300, pp.53-85. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/283730513>.

HEYNEN, N., KAIKA, M. y SWYNGEDOUW, E. (2006). "Urban political ecology: politicizing the production of urban natures", en HEYNEN, N., KAIKA, M. y SWYNGEDOUW, E. *In the Nature of Cities: Urban Political Ecology and the Politics of Urban Metabolism*. Londres y Nueva York: Routledge, pp. 1-20. Disponible en <https://urbanforensics.files.wordpress.com/2012/09/inthenatureofcities.pdf>

KOMNINOS, N. (2011). "Intelligent cities: Variable geometries of spatial intelligence". *Intelligent Buildings International*, vol. 3, pp. 172-188. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/233470549/download>

MANVILLE, C., COCHRANE, G., CAVE, J., MILLARD, J. [et al.], (2014). *Mapping Smart Cities in the EU*. Disponible en [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOLITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOLITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)

MARCH, H. y RIBERA-FUMAZ, R. (2014). "Una revisión crítica desde la Ecología Política Urbana del concepto Smart City en el Estado español". *Ecología Política*, núm. 47, pp.29-36. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/43528409>

MARTÍNEZ GUTIÉRREZ, R. (2017). "El impacto de las smart cities en la tutela ambiental y en la planificación urbana", PIÑAR MAÑAS, J.L. (Dir.). *Smart cities. Derecho y técnica para una ciudad más habitable*. Madrid: Reus, pp. 53-72.

MELLADO RUIZ, L. (2015). "Transporte y movilidad sostenible", en GONZÁLEZ RÍOS, I. (Dir.). *Estudios jurídicos hispanos-lusos de los servicios en red (energía, telecomunicaciones y transportes) y su incidencia en los espacios naturales protegidos*. Madrid: Dykinson, pp.509-510.

NAM, T. y PARDO, T.A. (2011). *Conceptualizing Smart City with Dimensions of Technology, People, and Institutions*. The Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research. Disponible en [https://inta-aiavn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/dgo\\_2011\\_smartcity.pdf](https://inta-aiavn.org/images/cc/Urbanism/background%20documents/dgo_2011_smartcity.pdf)

PAPA, E. y LAUWERS, D. (2015). *Smart mobility: Opportunity or threat to innovate places and Cities*. 20th International Conference on Urban Planning and regional Development in the Information Society. Belgium, Competence Center of Urban and Regional Planning. Disponible en: [http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/16363/1/CORP2015\\_46-1.pdf](http://westminsterresearch.wmin.ac.uk/16363/1/CORP2015_46-1.pdf)

PÉREZ PRADA, F., VELÁZQUEZ ROMERA, G., FERNÁNDEZ AÑEZ, V. y DORAO SÁNCHEZ, J. (2015). "Movilidad inteligente". *Economía industrial*, núm. 395, pp.111-121. Disponible en <http://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/395/FIAMMA%20PEREZ%20y%20OTROS.pdf>

RODRÍGUEZ BUSTAMANTE, P. *Datos abiertos y movilidad. La movilidad no es sólo transporte*. III Congreso Ciudades Inteligentes. Disponible en <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/comunicacion-datos-abiertos-movilidad-la-movilidad-no-solo-transporte>.

SCHUURMAN, D., BACCARNE, B., DE MAREZ, L. y MECHANT, P. (2012). "Smart Ideas for Smart Cities Investigating Crowdsourcing for Generating and Selecting Ideas for ICT Innovation in a City Context". *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, vol. 7, núm. 3, pp. 49-62. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4357121&orden=408480&info=link>.

VEGA PINDADO, P. (2016). "Una década de planes de movilidad urbana sostenible en España 2004-2014". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, núm. 36(2), pp. 351-372. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/53589/49107>

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: José Alberto España Pérez

Teléfono: 696 87 59 28

E-mail: [albertoespanape@gmail.com](mailto:albertoespanape@gmail.com)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Katja Aikas  
Andrés Alcántara  
*International Union for the Conservation of Nature  
(IUCN)*  
Ángel Enrique Salvo Tierra  
*Universidad de Málaga*

**NATURAL BASED SOLUTIONS (NbS)  
ASSOCIATED TO RIPARIAN  
VEGETATION IN URBAN  
ENVIRONMENT\***

*\*This article represents provisional results in the framework of a Master's Thesis of Katja Aikas enrolled in the Master's Program in The University of Malaga with the supervision of Á.E. Salvo Tierra and A. Alcántara*

### **Abstract**

Invasive alien species (IAS) are responsible for generating serious environmental and socioeconomic problems. An exotic species is a species introduced by man - either intentionally or accidentally - out of its natural distribution. Of all the exotic species it is estimated that between 5 and 20% are problematic and generate negative impacts, for which reason the term "invasive" is attributed, according to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and the Convention on Biological Diversity (CBD).

The IAS are favored by climate change and globalization, ending up dominating habitats, displacing native species and altering their natural balance.

The coast of the Costa del Sol suffers the problems of floods associated with intermittent streams and ravines, due to the intense alteration of the riparian ecosystems. The consequences are manifested in the transfer of large, highly destructive blocks, alteration of the supply systems and urban sanitation due to flooding, and the appearance of insect pests as vectors of diseases that are harmful to human health, since natural predators lack these habitats, loss of quantity and quality of soil, salinization of water resources, etc. In these cases the phenomenon of floods is concurrent with the presence of a group of IAS of high potentiality due to its allelopathic character in the change of edaphic conditions and therefore limiting the development of climatic vegetation. One of the most evident examples is the set of affections produced by the 'giant cane' (*Arundo donax*), an IAS that has been colonizing not only the margins of streams, but even the coastal habitats. We therefore focus our work on the analysis of the IAS cohort in the Costa del Sol streams and the possible activation of NbS as an alternative for the adaptation and mitigation of its effects.

### **Resumen**

Las especies exóticas invasoras (EEI) son responsables de generar problemas ambientales y socioeconómicos cada vez más graves. Una especie exótica es una especie introducida por el hombre – ya sea intencionalmente o accidentalmente – fuera de su distribución natural. De todas las especies exóticas se estiman que entre 5 y 20 % son problemáticos y generan impactos negativos, por lo que se atribuye el término "invasora", según Unión

Internacional para Conservación de Naturaleza (UICN) y el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD).

Las EEI son favorecidas por el cambio climático y la globalización, que acaban por dominar hábitats, desplazando a las especies autóctonas y alterando el equilibrio de los mismos.

El litoral de la Costa del Sol sufre los problemas de riadas asociadas a cauces de arroyos intermitentes y ramblas, debido a la intensa alteración de los ecosistemas riparios. Las consecuencias se manifiestan en acarreo de grandes bloques muy destructivos, alteración de los sistemas de abastecimiento y saneamiento urbano por inundación, aparición de plagas de insectos como vectores de enfermedades perjudiciales para la salud humana al carecer en estos hábitats de los predadores naturales, pérdida de cantidad y calidad de suelo, salinización de recursos hídricos, etc. En estos casos el fenómeno de riadas es concurrente con la presencia de un grupo de EEI de alta potencialidad por su carácter alelopático en el cambio de las condiciones edáficas y por ende limitando el desarrollo de la vegetación climácica. Uno de los ejemplos más evidentes es el conjunto de afecciones que produce la 'caña brava' (*Arundo donax*), una EEI que ha ido colonizando no solo los márgenes de arroyos, sino incluso los hábitats costeros. Centramos pues nuestro trabajo en el análisis de la cohorte de EEI en los arroyos de la Costa del Sol y la posible activación de SbN como alternativa para la adaptación y mitigación de sus efectos.

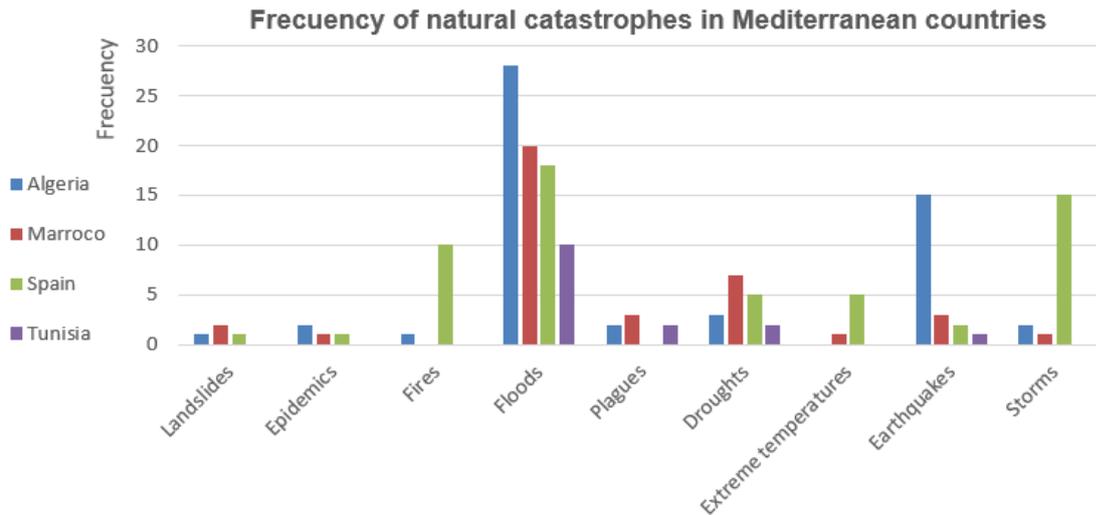
**Key words:** *invasive alien species; resiliency; riparian ecosystem; natural catastrophe, altered ecosystems*

**Thematic area:** *Actuaciones sostenibles del espacio urbano*

## 1. Introduction

The degradation of ecosystems is one of the main causes of the increasing challenges in the management of water resources (ONU & WWAP, 2018). The conservation and improvement of aquatic ecosystems is established as one of the priorities for the fulfillment of the environmental objectives of the Water Framework Directive 2000/60/EC to achieve the good condition of surface water bodies. The coast of the Costa del Sol suffers the problems of floods associated with intermittent streams and ravines, due to the intense alteration of the riparian ecosystems. Environmental degradation is a process of alteration of the structure and biological composition of an ecosystem, which entails a deterioration in its functions (Navarro Cano et al, 2017), and the ecological restoration aims to recover the structure and composition of the ecosystem.

The intense alteration in the Mediterranean coastal area due to urban pressure intensifies the risk of the area to suffer natural catastrophes (fig. 1), like how those associated with the water cycle, droughts and floods. Recovering modified ecosystems decreases the occurrence of such catastrophes.



**Fig 1. Frequency of natural catastrophes in the Mediterranean countries (made with information from <https://es.statista.com/temas/3597/desastres-naturales/>)**

Invasive alien species (IAS) are responsible for generating increasingly serious environmental and socioeconomic problems. An exotic species is a species introduced by man - either intentionally or accidentally - out of its natural distribution. Of all exotic species it is estimated that between 5 and 20% are problematic and generate negative impacts, for which reason the term "invasive" is attributed, according to the International Union for Conservation of Nature (IUCN) and the Convention on Biological Diversity (CBD).

The consequences of the alteration of ecosystems, apart from major catastrophes, are manifested in the transport of large, highly destructive blocks, alteration of water supply and urban sanitation systems, and the appearance of insect pests as vectors of diseases that are harmful to human health and lack natural predators in these habitats, loss of quantity and quality of soil, salinization of water resources, etc. In these cases the phenomenon of floods is concurrent with the presence of a group of IAS of high potentiality due to its allelopathic character in the change of edaphic conditions and therefore limiting the development of climatic vegetation (fig. 2).



**Figure 2. An example of the destruction of the gallery forests in the riverbed (Guadiaro) and the invasion of alien species.**

## 1.1. Nature-based solutions

Nature-Based Solutions (NbS) is a concept covering a range of approaches which use natural processes and species to address societal challenges. According to the Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on "Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities" (European Commission, 2015), NbS aim to help societies address a variety of environmental, social and economic challenges in sustainable ways. They can be addressed to the restoration of degraded ecosystems, in coastal resilience and multifunctional management of basins. NbS can also be focused on mitigation and adaptation to climate change, by making more sustainable use of resources and raw materials, and increase carbon storage. For the last, NbS can be used to improve resilience and risk management, by increasing the value of ecosystems and energy efficiency.

IUCN (Cohen-Shacham et al., 2016), defines nature-based solutions as "actions to protect, sustainably manage, and restore natural or modified ecosystems, that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously providing human well-being and biodiversity benefits".

The European Commission defines NbS as "living solutions continually inspired and supported by nature, which use the design based on the same to address various societal challenges in an efficient manner that is adapted to the resources, at the same time providing economic, social and environmental benefits" (Maes & Jacobs, 2017).

The NbS are divided into three categories according to their intensity and impact on the territory and targeted ecosystem (Cohen-Shacham et al., 2016): I) NbS level 1, of conservation, II) NbS level 2, managing the ecosystem, where exists an alteration on the habitat and III), NbS level 3, creating new ecosystem, that involves a total modification of the habitat.

## 1.2. IAS

The invasive alien species, IAS, are allochthonous species favored by climate change and globalization, capable of colonizing new regions displacing autochthonous species occupying the same ecological niche. The law regulating biodiversity in Spain, "Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad", defines an IAS as a specie "which is introduced or established in an ecosystem or natural or semi-natural habitat and which is an agent of change and threat to diversity native biological, either by its invasive behavior, or by the risk of genetic contamination". The climate change debilitates some autochthonous species leaving the ecological niche to be colonized, or weakens the original species capacity to compete with new species. The IAS use man-made dispersion vectors such as international sea, terrestrial an aerial traffic.

The IAS are cataloged in Royal Decree 630/2013, of August 2, which elaborates and regulates the Spanish Catalog of Invasive Alien Species, "Catálogo Español de Especies Exóticas Invasoras" (CEEEI). It's regulated by Decree 23/2012, which regulates the conservation and sustainable use of wild flora and fauna and their habitats, "Decreto 23/2012, de 14 de febrero, por el que se regula la conservación y el uso sostenible de la flora y la fauna silvestres y sus hábitats" (art. 51: Exotic species, art. 52. Invasive alien species). Those species observed in the study area are mainly *Eucalyptus occidentalis* (eucalyptus), *Oxalis pes-caprae* (sour grass), *Ricinus communis* (castor bean), *Opuntia ficus* (prickly pear), *Ailanthus altissima* (tree of heaven) and *Arundo donax* (giant cane, fig.3).

Problems IAS commonly generates in ecosystems are:

- diminution of biodiversity and loss of autochthonous species;
- diminution of insects, pollinators and all types of fauna associated to autochthonous species;
- Transport of vegetal material downstream and to the river mouth and blocking infrastructure (fig.4)
- Impoverishment and loss of soil quality
- The expansion of IAS via hydrological channel
- Alelopathies



Figure 3. *Eucalyptus occidentalis*, an IAS, in section 1 of the study area.



Figure 4. Vegetal material of *Arundo donax* in the study zone 1.

### 1.3. Background

It is worth mentioning the proposals of United Nations; World Report on Water Resources Development 2018 about Nature based solutions to Water Management (ONU & WWAP, 2018); the Regional Ministry of the Environment of the Junta de Andalucía (2008), on the restoration of riverbanks in Mediterranean rivers; and, especially, the complete manual of river restoration of the Diputación de Málaga (2013), since it deals with the problem of river and streams in the Alborán sea region and possible actions to mitigation them.

### 2. Objective

The objective of this work is to establish a model to recover a highly modified urban hydrological channels and associated riparian vegetation with nature based solutions. Two NbS are proposed to properly manage the highly modified Teatinos stream.

### 3. Methodology

#### 3.1. Study area

Three sections of the Teatinos stream is studied, located in the city of Malaga, between the University of Málaga, Teatinos campus between Faculty of Sciences and Higher Technical School of Computer Engineering, and the northeast corner of the industrial zone of El Viso (fig.5). The three sections sum up a study zone of 3 hectares.



Figure 5. Study area, stream 2, in the industrial zone El Viso.

The margins of the channels belong to the hydraulic public domain (DPH) according to 'Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas', and therefore the management corresponds to public authorities, in this case the city of Málaga.

The climatic vegetation corresponds the phytogeographical classification of Holarctic Kingdom, Tethyan Subkingdom, Mediterranean Region, West Mediterranean Subregion, Bética Province, Sector Malacitanum-Axarquín, classification made by Rivas-Martínez et al. (2011). The western Mediterranean climate characterizes with mild winter temperatures, annual mean temperatures between 13-19°C and total absence of icing. Bioclimatic zone dry thermo Mediterranean. Rain regime is torrential, the main cause of heavy floods.

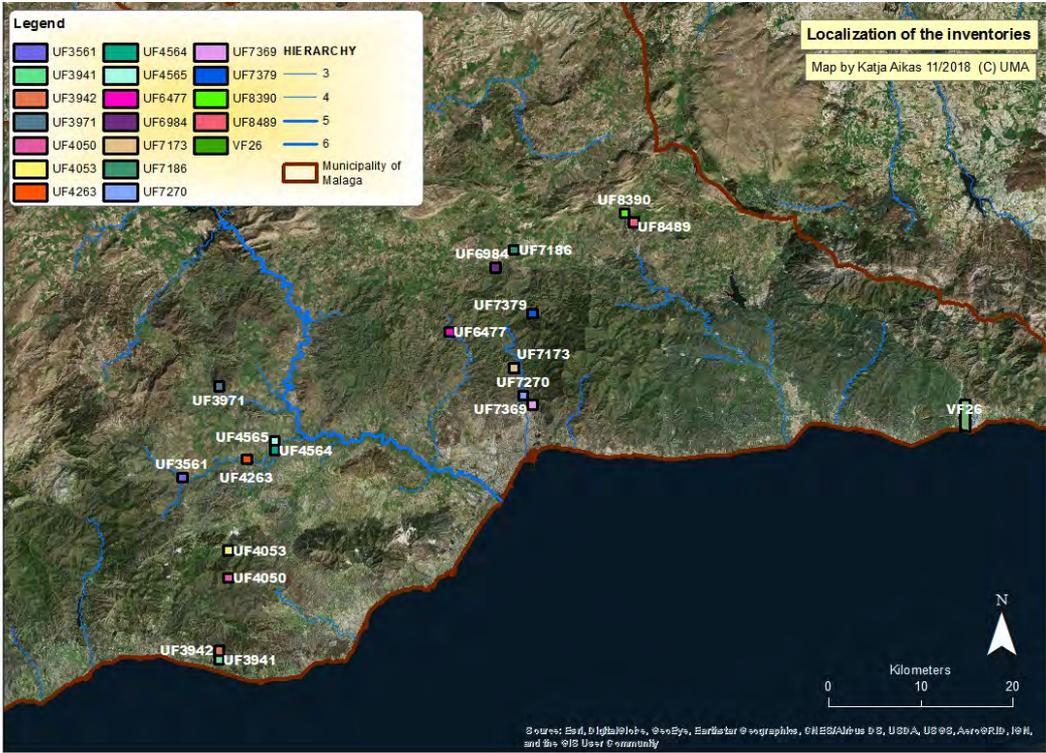


Figure 6. Study area in orthophoto from the year 1956, 2000 and 2018, the three sections of the Teatinos stream are marked in colors (based on Google Earth and REDIAM [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM\\_Ortofoto\\_Andalucia\\_1956?](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/mapwms/REDIAM_Ortofoto_Andalucia_1956?)).

As can be seen in the photos (fig. 6), the area has radically changed from being mostly from agriculture to being urbanized. This creates an enormous pressure on natural elements reducing and modifying the habitat. All superficial water, including rainwater and the proper Teatinos stream, is conducted to man-made channels. Asphalted roads and infrastructures reduce water retention by vegetation and infiltration to subterranean water, which increases the amount of water to runoff, and increases the risk of flooding. The water channels of Teatinos stream lack proper properly managed and sized riverside buffers (Januchta-Szostak, 2012), with adequate vegetation, to infiltrate and retain rainwater and reduce the risk of flooding. Inappropriate land use, landscape evolution and ecosystem transformations are driven by urbanization processes, a common trend in all modern cities, further exacerbated by fast growing urban population that increases the risks of environmental problems (Saaty & De Paola, 2017).

**3.2. Statistical study**

A statistical study was conducted with Past 2.17 © Hammer & Harper. Plant inventories available in SIVIM, Sistema de Informacion de Vegetacion Iberica y Macaronesica (<http://www.sivim.info/sivi/>), were recopilated and compared in Microsof Office Excel. 46 inventories were found related to significant water bodies and rivers, permanent and semipermanent, in the climatic zone in phytogeographical classification by (Rivas-Martínez et al., 2011) corresponding to thermomediterranean malacitano-axarquense. The inventories were conducted with a fitosociological method based on specimen abundancy. The inventories were mapped within the UTM grid in the following map (fig.7), made with ArcGIS 12.7. © ESRI Inc. ®:



**Figure 7. Map of the location of the inventories in the statistical analysis. Data used referred in the bibliography.**

The inventories represent specimen abundance by species in following scale used commonly in phytosociology: 5= very abundant, 4 = abundant, 3 = frequent, 2 = rare, 1 = very rear, + = present occasionally. Any "+" were given the initial value of 0.5 in this study. Characteristic species and AIS present in more than 5 inventories were pinned and other inventories deleted to create a Basic data matrix (Table 1) with 29 species, three of them AIS.

The matrix was analysed with Past, the abundance of every species were calculated and a principal component analysis were made.

**Table 1. Basic data matrix. Key species are highlighted in light green and accompanying species in dark green.**

		INV 1	INV 2	INV 3	INV 4	INV 5.1	INV 5.2	INV 5.3	INV 5.4	INV 5.5	INV 6.2	INV 6.3	INV 6.4	INV 7.1	INV 7.2	INV 7.4	INV 8	INV 9.1	INV 9.2
Nerium oleander L.	NER OLE	2	2	4	8	1	4	0	2	8	1	1	2	2	1	4	1	8	8
Rubus ulmifolius Schott	RUB ULM	2	0	8	8	6	6	0	6	1	0	2	0	2	2	0	0	6	6
Scirpoides holoschoenus (L.) Soják	SCI HOL	0	0	1	0	0	1	2	1	1	6	6	4	6	6	0	1	1	1
Mentha suaveolens Ehrh.	MEN SUA	1	2	1	2	0	2	0	0	0	1	4	0	0	1	0	1	0	2
Arundo donax L.	ARU DON	0	0	1	4	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	2	1
Tamarix africana Poir.	TAM AFR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
Dittrichia viscosa (L.) Greuter	DIT VIS	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	1	0	0	0
Apium nodiflorum (L.) Lag.	API NOD	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equisetum ramosissimum Desf.	EQU RAM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	2	0	0
Polygonon monspeliensis (L.) Desf.	POL MON	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Rubia peregrina L.	RUB PER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	2	10	0	0	0
Salix pedicellata Desf.	SAL PED	0	0	2	0	1	4	1	2	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Salix purpurea L.	SAL PUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solanum nigrum L.	SOL NIG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Bryonia dioica Jacq.	BRY DIO	0	0	0	0	2	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dorycnium rectum (L.) Ser. in DC.	DOR REC	0	0	2	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraxinus angustifolia Vahl	FRA ANG	0	0	2	0	10	8	6	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Piptatherum miliaceum (L.) Coss.	PIP MIL	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Polygonum lapathifolium L.	POL LAP	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Rosa sempervirens L.	ROS SEM	0	0	2	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Smilax aspera L.	SMI ASP	0	0	0	0	4	2	1	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Juncus acutus L.	JUN ACU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Oxalis pes-caprae L.	OXA PRE	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Populus alba L.	POP ALB	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Typha latifolia L.	TYP LAT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acacia saligna (Labill.) H.L. Wendl.	ACA SAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud.	PHR AUS	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tamarix gallica L.	TAM GAL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ulmus minor Mill.	ULM MIN	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

INV 9.3	INV 9.4	INV 10.1	INV 10.2	INV 10.3	INV 11.1	INV 11.2	INV 11.3	INV 12.1	INV 12.2	INV 12.3	INV 12.4	INV 14.1	INV 14.2	INV 15.1	INV 15.2	INV 15.3	INV 15.4	INV 16.1	INV 16.2	INV 16.3
8	8	0	1	0	0	0	0	6	8	8	8	0	0	6	2	0	0	0	1	0
8	6	6	0	0	1	0	4	6	6	6	6	0	0	2	4	0	0	6	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	2	0	0	1	1	0
2	2	2	1	0	1	1	0	0	2	2	2	0	1	0	0	0	0	2	1	0
4	2	2	0	2	0	4	4	2	1	4	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2
0	0	1	1	1	0	0	0	4	4	0	0	2	1	8	8	10	10	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	10	10	2	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2	10	8	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	10	10	10	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	10	10
1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	0	0	0
0	0	0	0	1	10	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ESPECIES E I  
 ESPECIES CARACTERÍSTICAS  
 ESPECIES ACOMPAÑANTES

## 4. Results

### 4.1. The invasive power of the AIS

The invasive power of the AIS found in the analysis according to its corresponding record in the CEEEI (<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-exoticas-invasoras/ce-eei-catalogo.aspx>) and for taxonomical referencies (<https://www.gbif.org/> - consulted 21.2.2019):

***Arundo donax* L.**, giant cane; Fam. Poaceae

Impact: IUCN considers the cane as one of the 100 most dangerous species of animals or plants in terms of its ability to invade and alter the habitats it colonizes. The actions of control or eradication of the species are very expensive since they are difficult and require continuous action.

Paths of entry and expansion: It is a species of very old introduction, since its arrival in Western Europe took place approximately in the sixteenth century. It is dispersed naturally by the propagation mechanisms of the species, mainly vegetatively by rhizomes.

Threat: On the habitat: Among its impacts on the natural environment, it is worth highlighting the displacement of the native riparian vegetation, which may even be replaced entirely. This causes an impoverishment of the habitat for the associated terrestrial fauna. It diminishes the drainage capacity of rivers and channels by plugging and reducing the channels with their sediments. Because of the large biomass it produces, it is a risk factor for fires. Due to its intense transpiration, it reduces water resources in arid areas where wetlands are scarce. In the invasion of natural ecosystems, the previous destruction of native vegetation by anthropic actions is of great importance. On the species: It produces a strong competition, reduction and alteration by the space and the resources, with the endemic and / or native species. It prevents or hinders the recruitment or regeneration of autochthonous species as they form much closed masses of vegetation (fig. 8), especially in gully channels and riparian environments. The network of rhizomes becomes so dense that it creates a solid layer on the ground that completely prevents the growth of other species.



Figure 8. *Arundo donax* in the study area, section 1.

***Acacia saligna*** (Labill.) HLWendl., Blue-leaf wattle, Fam. Mimosaceae

Fast growing species, resistant to mild frost, not very severe droughts and poor and / or acid soils (fig.9). It reproduces by seeds and in a vegetative way. Ecological impact: 1) Competence and displacement of native flora species. Health impact: 1) It can be toxic to livestock if it is consumed in large quantities due to the large amounts of tannins. Main routes of entry: Introduced voluntarily as ornamental, forage and windbreaks. Main introduction vectors: Once introduced, it expands naturally.



**Figure 9. *Acacia saligna*.**

***Oxalis pes-caprae*** L., Soursob, Fam. Oxalidaceae

Entry and expansion pathways: Introduced in the Mediterranean basin and in many other temperate and subtropical regions of the world involuntarily, through the pathways of agricultural weeds. In Spain it appeared for the first time in the year 1850. In the case of our country, it seems likely that it arrived from North Africa with citrus transports.

Impacts: On the habitat: Although its effect on natural ecosystems in Spain has not been studied, there are data referring to other areas with climatic affinities. In the dune ecosystems in addition to direct competitive exclusion, when installed in bare areas generates a very negative effect, stabilizing the sands and enriching the soil with nutrients, which encourages the entry of ruderal species displace natural communities. On the species: In the invaded areas forms dense covers that monopolize the light and space, displacing the native flora, besides inhibiting the germination of their seeds (fig.10). On economic resources associated with the use of natural heritage: It produces economic and environmental damages, due to its condition as an agricultural weed, since it intensively invades the crops of the warm and subtropical zones, especially citrus plantations. Cattle can be poisoned by oxalate if they consume the plant in large quantities.



Figure 10. *Oxalis pes-caprae*.

#### 4.2. Restoration of the Teatinos stream with native species

In the statistical analysis, a replacement of the native species by AIS is observed in the thermomediterranean bioclimatic area. A restoration by autochthonous species is proposed as NbS to restore the Teatinos stream channel and streambed. The NbS can be type 2 (moderate impact and alteration of the habitat) or type 3 (impact and alteration of the intense habitat).



Figure 11. Example of riparian communities (*Nerio-Tamaricetea*) in the thermomediterranean bioclimatic zone integrated in urban environment present today (Teatinos stream on the Avenue Ortega y Gasset, study zone 2), within them oleander (*Nerium oleander*), common reed (*Phragmites australis*) and cattails (*Typha angustifolia*).

Results of the statistical study indicate 14 characteristic species (Table 1) to form a sustainable autochthonous vegetal community in the thermomediterranean bioclimatic zone. Six of these species were found to be present in the study area by the day (fig 11.12 and 13), in its current state, being the following:

1. *Ulmus minor* (elm)
2. *Populus alba* (silver poplar)
3. *Tamarix gallica* and *Tamarix africana* (tamarisk)
4. *Nerium oleander* (oleander)
5. *Typha latifolia* (cattail)
6. *Phragmites australis* (common reed)



Figure 12. *Populus alba* present in the study zone 1, next to *Arundo donax*.

Tamarisk and oleander are recommended for riverbed and waterways restoration in the Occidental Mediterranean in “*Restauración de riberas en ríos Mediterraneos. Manual de restauración forestal nº9*” by Consejería de Medio Ambiente (2008). The manual also points out that the typology of the riparian zone responds to ecological, and not humane, criteria, and the selection of species to reforest should follow ecological rather than landscaping criteria. UNEP (ten Brink et al., 2012) recognizes ecosystem services delivered by wetland as a NbS for watershed management issues. Most important ecosystem services provided by the autochthonous species in the Teatinos stream are the following:

- Erosion control: stabilize the soil and particles of the hydrological course
- Hydric regulation: Support the original hydrological functionality of the course
- Sustenance of the native fauna
- Containment of floods
- Groundwater recharge: water filtration
- Conectancy in ecosystems: ecological corridor
- Control of water quality: phytoremediation



**Figure 13. Section 2 of the study area *Phragmites australis*, *Arundo donax* and *Ricinus communis*.**

The proposed NbS type 2, to restore the habitat, consists of four phrases. First phrase consist of eradication of the plant material proceeding from the IAS and its gradual substitution by native plants. (Moderate impact and alteration of the habitat). Second phase consists on using phytoremediating plants to decontaminate the soil and improve the water quality. IAS introduce alelopathic agents into their habitat to reclaim it from other species, such as oxalate (*Oxalis pes-caprae*). On the water such species as *Lemna gibba* and *Lemna minor*, duckweed, are proven to be very efficient and inexpensive choice (Moreno, 2018) (Mkandawire & Dudel, 2007). To improve and decontaminate the streambed, *Phragmites australis* and *Typha latifolia* are recommended, with proven phytoremediation capacity, together with species like *Cyperys* sp. (Kipasika et al., 2016) (Leto et al., 2013).

The 3<sup>rd</sup> phase of the restoration includes autochthonous species *Tamarix* sp. and *Nerium oleander*, medium sized shrubs. The objective is retain the decontaminated soil and regenerate autochthonous associated flora and fauna, to trigger natural succession, leading to the maturation of the ecosystem and the development of climatic vegetation (Connell & Slatyer, 2002)(Dyksterhuis, 1958). Maturing this phase should evidence natural apparition of accompanying species associated to these vegetal communities (listed in basic data matrix, Table 1).

The 4<sup>th</sup> and last phase includes plantation of trees, *Ulmus minor* and *Populus alba*. Tree species require a mature ecosystem with a dense forest floor, or detritus, to be able grow successfully. A forest floor defends against the attacks from insects and parasites, and against the very own *Arundo donax*, that has wide range of competitive advantages including much faster growth rate, and would once more invade the habitat. A detritus originating from shrubs also plays an important role in hiding the seeds of the tree species, when they reproduce and spread naturally in the habitat.

This NbS type 2 has a good cost-effectiveness compared to conventional grey, cement based solutions, but phytoremediation requires a decent amount of time to develop. Therefore, we want to present NbS type 3, for more rapid development.

NbS type 3 consists of an engineering solution, (intense impact and alteration of the habitat) more efficient and more expensive than NbS type 2. It involves the eradication of plant material, before proceeding to restore with native species, like the first NbS, but instead of phytoremediation to decontaminate the soil altered by IAS, the contaminated soil is to be

removed and replaced with new soil. In this 2<sup>nd</sup> phase, the movement and soil transport is efficient and rapid, and proceeding to phase 3, revegetation and recreation of autochthonous ecosystem is fast. (fig. 14)

NbS are alternative, cost-efficient and sustainable solutions to problems created by intense urbanism and conventional “grey infrastructure” (Liquete et al., 2016). They mitigate some water-related issues of the municipality of Malaga – flooding, construction of pipelines by vegetal material - potentially increasing the ecological status and biodiversity of the Teatinos stream, upscaling it’s capacity to provide a broad range of ecosystem services.

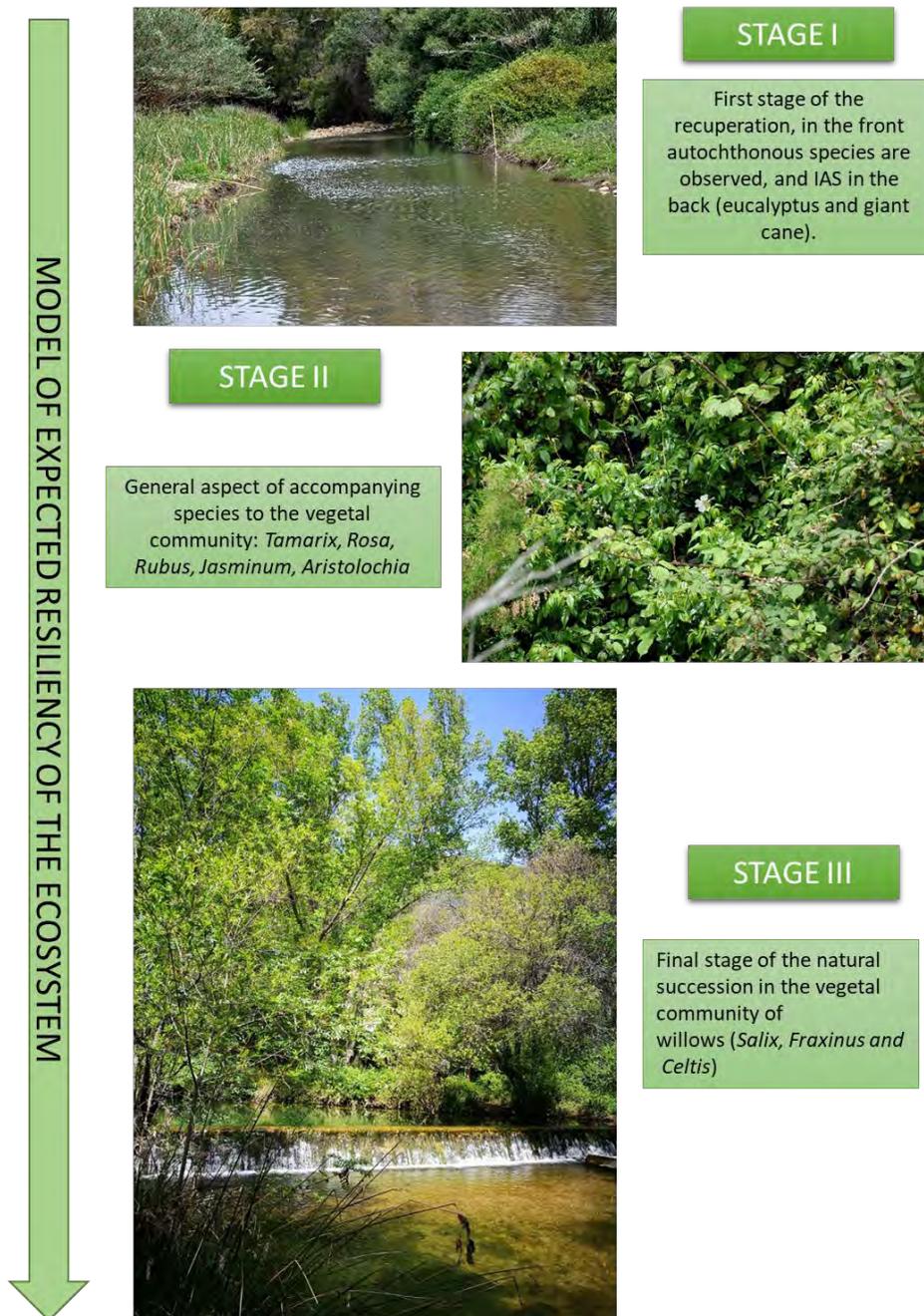
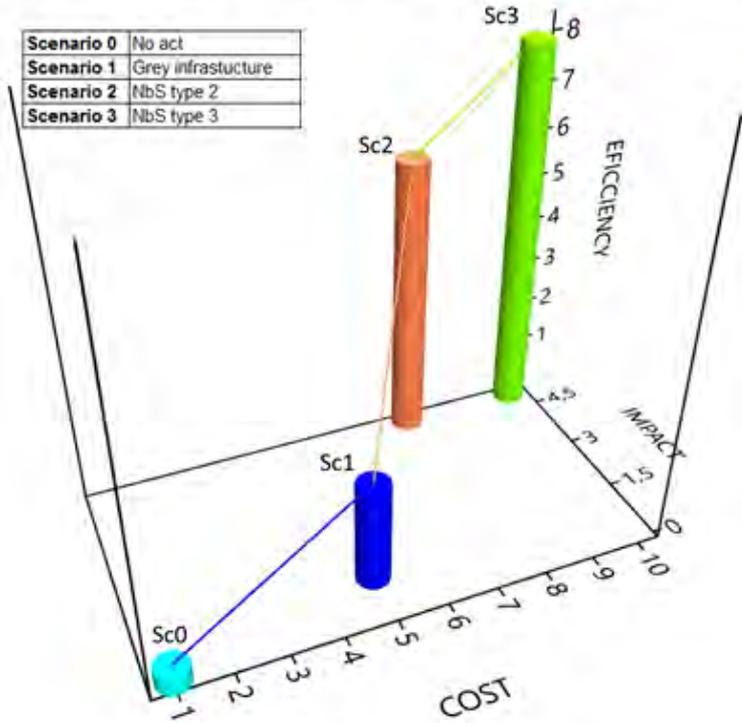


Figure 14. Model of expected resiliency of the ecosystem

**5. Economic evaluation of the intervention with NbS**

NbS type 3, named Urban Riparian Vegetation Act or URVA, would decrease risks of natural catastrophes in the urban environment considerably. To implement an URVA, an initial economic investment is required. The initial investment in URVA is larger than in similar intervention with less impact on the ecosystem - NbS type 2 – but the positive results are more imminent, and equally consistent in time (fig. 15).

**Comparing chart between initial inversion (first year), expected impact and efficiency.**



**Figure 15. Comparing chart between initial inversion (first year), expected impact and efficiency.**

Figure 15 compares four different scenarios, in which NbS types 2 and 3 would have considerably higher expected efficiency on the ecosystem than scenario 0 or scenario 1. Expected efficiency is evaluated in scale 0 to 10, where 10 would be a perfect NbS with imminent impact in the ecosystem – scenario 3 comes closest to this hypothetical state. Impact is the expected grade of transformation and alteration in the ecosystem in respect to the initial state. Scenarios 2 and 3 will have an expected impact of 50%, as the ecosystem will continue to function as a stream, and there is no alteration to the water flow.

For the economic evaluation of the cost for URVA, the method proposed by Ben Satti et al. (2019) is used. Figure 16 shows the application to the URVA of the battery of indicators proposed according to the Essential Principles that defines NbS according to IUCN.

EVALUATION OF NbS		TYPE 3 URVA TEATINOS
COD IND	INDICATOR	
1	Percentage of area of intervention area of the NbS with respect to the unit of landscape in which it is inscribed and to the adjoining ones.	-
2	Number of principles of the World Charter for Nature (UN) that are fulfilled in the proposed NbS.	+
3	Percentage of budget dedicated to the creation of green infrastructures with respect to the total budget of the administration involved dedicated to infrastructures (EC criterion for structural funds).	0
4	Use of local knowledge.	-
5	Year-on-year rate of incorporation of women into the project.	0
6	Evolution of the per capita income index with respect to the Consumer Price Index (CPI).	+
7	Increase of the biological diversity by the coefficient of the number of arboreal species with respect to the total number of trees.	+
8	Evolution of the artificiality index considering the proportion of surface of natural landscape units (including agrosystems) with respect to artificial ones.	+
9	Surface coefficient of natural landscape units with sequestration capacity (meadows * 1, bushes * 2, forest masses and sheets of water * 3) with respect to greenhouse gas emissions generators (residential * 1; viario * 2; industry * 3).	- (0,96-AÑO 19)
10	Annual index of the total consumption of liters of water per day and per household, with respect to the rainfall registered in the same annuity.	-

	positive	negative	neutral
definitive	+	-	0
provisional	+	-	0

**Figure 16. Evaluation of an URVA based on the battery of indicators proposed, traduced from Ben Satti et al. (2019)**

An estimated price per square meter to this act is 28 €/m<sup>2</sup>. based on current market prices, including all phases of the NbS in the first year. Based on that, to act in an area estimated 3 hectares, or 30000 m<sup>2</sup>, the final cost to implement URVA in Teatinos would be € 840.000 in the first year (final estimate depending on the schedule). To compare this price to conventional grey infrastructure, table 2. shows current on-going pluvial and riparian projects in the municipality of Malaga. Three of these actions have a budget above 1 million euros, and three below.

**Table 2. Projects contemplated by Department of Urbanism and Emasa, Empresa Municipal Aguas de Málaga (Programming 2019)**

Projects contemplated by Urbanism and Emasa (Programming 2019)
Santa Cruz. Reduction of the rainwater network, which was intercepted by the works of the AVE ( <i>Alta Velocidad Española</i> , high speed train rail service), to the collector in La Gitanilla street, until it connects with the work of passage of the old irrigation ditch of Labradores that flows into the Los Prados lagoon. It is already running with a budget of 230,985 euros.
Pérez Texeira. Collection of rainwater that accumulate at the confluence of María Zambrano avenue and Ortega y Gasset (at the height of the Traffic Headquarters and the fairgrounds) through a large capacity casket that will connect with the Las Cañas stream. Pending tender with a budget of 241.897 euros.
Guadalhorce. Raise the slope of the low point that was built on César Vallejo street under the structure of the <i>Cercanías</i> commuter train line. When it is already underground, the level will be raised and a rainwater collection will be installed to take it to the Concepción Arenal street collector. Budget: 1,013,733 euros.
El Viso. Change of the level of the channel of the stream of La Palma so that its floods do not affect the Canada street. Budget: 1,771,870 €.
Santa Teresa. Extension of the collector that runs along Valle Niza street, whose drainage is invaded by reeds, so that it spills into the channel on the left bank of the Guadalhorce river. Budget: 876,992 euros.
Separación de redes. Emasa will invest 1.2 million euros in separating the sanitation and storm water networks in the business parks of La Estrella, El Viso, Santa Teresa, Santa Cruz, San Luis, Azucarera and Pérez Texeira.
SOURCE: Diario Sur, <a href="https://www.diosur.es/malaga-capital/docena-obras-acabara-20180502203356-nt.html">https://www.diosur.es/malaga-capital/docena-obras-acabara-20180502203356-nt.html</a>

## CONCLUSIONS

- The Teatinos stream is situated in an urban environment and due to intense urbanism and lack of proper rainwater and riparian vegetation management, the natural vegetation is replaced by IAS, causing multiple problems such as blocking pipelines and infrastructures, increasing rainwater runoff and the risk of flooding and general impoverishment of the ecosystem.
- Statistical study based on plant inventories in SIVIM reveals three IAS placed in the ecosystems associated to waterways in the thermomediterranean bioclimatic zone: *Arundo donax*, *Acacia salina* and *Oxalis pes-caprae*.
- Statistical study based on plant inventories in SIVIM reveals 14 characteristic autochthonous species in the ecosystems associated to waterways in the thermomediterranean bioclimatic zone, of which 6 are currently present in the study zone, and are used to propose NbS to increase resiliency of the riparian vegetation in the study area.
- Two NbS are proposed to manage the Teatinos stream, both including eradication of IAS vegetal material. NbS type 2 uses phytoremediation to recover the soil altered by IAS. NbS type 3 uses engineering solution to replace the contaminated soil. The objective of both is to trigger the natural succession leading to azonal vegetation and composing a fully functional ecosystem, which provides many important ecosystem services and reduces the risk of natural catastrophes.

## Bibliography

Ben Satti, I., Salvo Tierra, A.E. & Alcántara Valero (2019) *Bases for the evaluation of the Nature based solutions*. (ined.) Málaga.

Consejería de Medio Ambiente, (2008). *Restauración de riberas en ríos Mediterraneos. Manual de restauración forestal nº9*. Junta de Andalucía.

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. and Maginnis, S. (2016). *Nature-based Solutions to address global societal challenges. Nature-based solutions to address global societal challenges*. Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>

Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (2002). Mechanisms of Succession in Natural Communities and Their Role in Community Stability and Organization. *The American Naturalist*, 111(982), 1119–1144. <https://doi.org/10.1086/283241>

Diputación de Málaga, S. (2013). Manual metodológico de actuaciones de restauración ambiental y uso público en ámbitos fluviales. *MANUAL DE RESTAURACIÓN FLUVIAL*. Retrieved from <http://static.malaga.es/malaga/subidas/descargas/archivos/5/9/232895/manual-de-restauracion-ambiental-en-ambitos-fluviales-%2528bilingue-espa%25F1ol-frances%2529.pdf>

Dyksterhuis, E. J. (1958). Ecological principles in range evaluation. *The Botanical Review*. <https://doi.org/10.1007/BF02872569>

European Commission. (2015). *Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-Based Solutions & Re-Naturing Cities*. <https://doi.org/10.2777/765301>

Januchta-Szostak, A. (2012). Urban water ecosystem services. *Sustainable Development Applications*, 3(5), 91–110.

- Kipasika, H. J., Buza, J., Smith, W. A., & Njau, K. N. (2016). Removal capacity of faecal pathogens from wastewater by four wetland vegetation: *Typha latifolia*, *Cyperus papyrus*, *Cyperus alternifolius* and *Phragmites australis*. *African Journal of Microbiology Research*, 10(19), 654–661. <https://doi.org/10.5897/AJMR2016.7931>
- Leto, C., Tuttolomondo, T., La Bella, S., Leone, R., & Licata, M. (2013). Effects of plant species in a horizontal subsurface flow constructed wetland – phytoremediation of treated urban wastewater with *Cyperus alternifolius* L. and *Typha latifolia* L. in the West of Sicily (Italy). *Ecological Engineering*, 61, 282–291. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2013.09.014>
- Liquete, C., Udias, A., Conte, G., Grizzetti, B., & Masi, F. (2016). Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control. Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services*, 22, 392–401. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2016.09.011>
- Maes, J., & Jacobs, S. (2017). Nature-Based Solutions for Europe's Sustainable Development. *Conservation Letters*, 10(1), 121–124. <https://doi.org/10.1111/conl.12216>
- Mkandawire, M., & Dudel, E. G. (2007). Are Lemna spp . effective phytoremediation agents ? *Bioremediation, Biodiversity and Bioavailability*, 1(1), 56–71.
- Moreno, M. V. (2018). FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES : Análisis de la actividad de *Lemna gibba* L . y *Lemna minor* L . en una balsa de alperujo  
PHYTOREMEDIATION OF INDUSTRIAL WASTEWATER : Analysis of the activity of *Lemna gibba* L . and *Lemna minor* L . in an al. *Trabajo Fin de Grado, Universida*.
- Navarro Cano, A. J., Estellés, M. G., González Barberá, G., Castillo Sanchez, V. M., & Verdú del Campo, M. (2017). Restauración ecológica en ambientes semiáridos recuperar las interacciones biológicas y las funciones ecosistémicas. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid*, 162. Retrieved from [https://www.uv.es/cide/Documentos/RESTAURACION\\_ECOLOGICA.Libro.pdf](https://www.uv.es/cide/Documentos/RESTAURACION_ECOLOGICA.Libro.pdf)
- ONU, & WWAP. (2018). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua, resumen ejecutivo; 2018, 12. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261594s.pdf>
- Rivas-Martínez, S., Sáenz, S., & Penas, A. (2011). Worldwide bioclimatic classification system, 1(December), 39–43. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2006>
- Saaty, T. L., & De Paola, P. (2017). Rethinking Design and Urban Planning for the Cities of the Future. *Buildings*, 7(76), 22. <https://doi.org/10.3390/buildings7030076>
- ten Brink, P., Mazza, L., Badura, T., Kettunen, M., & Withana, S. (2012). NATURE AND ITS ROLE IN THE TRANSITION TO A GREEN ECONOMY. *Executive Summary*, (United Nations Environment Programme), 12. Retrieved from <http://www.ieep.eu>.

Spatial information used in the map (fig. 7):

- Mallas terrestres para representación geográfica, Malla 12 x 1 km. Andalucía, Ministry of Ecological Transition, Government of Spain. (<https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/bdn-cart-aux-descargas-ccaa.aspx>).
- Capa de provincias españolas Provincias - ETRS89 UTM 30N , ARcGIS ESRI Online Services. (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=83d81d9336c745fd839465beab885ab7>)

- The information about hydrological channels: Red Hidrológico de aguas superficiales, Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM), Junta de Andalucía.  
([http://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F04\\_RECURSOS\\_NATURALES%2F04\\_AGUAS%2F01\\_SUPERFICIALES%2F00\\_SUPERFICIALES](http://descargasrediam.cica.es/repo/s/RUR?path=%2F04_RECURSOS_NATURALES%2F04_AGUAS%2F01_SUPERFICIALES%2F00_SUPERFICIALES)). Only channels with a denomination bigger than 3 are represented.

**Correspondence** (for more information contact):

Nombre y Apellido: Katja Aikas  
Teléfono: +34 684 325 415  
E-mail: [katjaaikas@gmail.com](mailto:katjaaikas@gmail.com)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Francisco Galacho Soler  
*Polo Digital.*  
Jesús Vías Martínez  
Nuria Nebot Gómez de Salazar  
*Universidad de Málaga.*

**MAPA DE LOS ESPACIOS  
TRANQUILOS Y SEGUROS PARA EL  
USO DE LA BICICLETA EN LA  
CIUDAD DE MÁLAGA**

## Resumen

La expansión de la bicicleta como medio de transporte urbano en la ciudad de Málaga se ha logrado en gran medida gracias a la creación de infraestructuras que permiten conectar puntos estratégicos de la misma. Aun así, el desarrollo de la red de carriles bici no puede cubrir todos los espacios de la ciudad para que puedan ser transitados en bicicleta y este aspecto lastra la posibilidad de que pueda seguir creciendo el uso de la bicicleta como medio de transporte.

Algunas zonas de la ciudad no tienen carriles bici, simplemente, porque todavía no se ha ejecutado el plan de infraestructuras ciclistas al completo y, en otras zonas de la ciudad, no se ha desarrollado porque no tiene cabida o porque no procede. Por ejemplo, el centro histórico de la ciudad es una de esas zonas que no están presentes para la creación de carriles bici porque predominan las restricciones al tráfico motorizado y la seguridad en el desplazamiento con bicicleta es inherente a su carácter peatonal. En cambio, la masificación de personas en muchas calles del centro histórico hacen inviable el uso de la bicicleta como medio de transporte.

Frente a este problema, en este trabajo se presenta un estudio realizado en la ciudad de Málaga en el marco de la cátedra “Tecnologías emergentes para la ciudadanía”, del Proyecto Cátedras Estratégicas del Vicerrectorado de Proyectos Estratégicos (convenio entre el Ayuntamiento de Málaga y la Universidad de Málaga) para cartografiar todos los espacios de la trama urbana que por diferentes razones (comerciales, urbanísticas, arquitectónicas, sociales, etc) no son utilizados masivamente por los ciudadanos y cumplen unos requisitos y condiciones convirtiéndose en zonas de paso rápido y seguro en los desplazamientos de los ciclistas por la ciudad. El mapeo de estos espacios permite conectar más puntos de la ciudad que hasta ahora no se podía utilizando simplemente la red de carriles bici existentes.

El mapeo de la red de espacios tranquilos y seguros para la bicicleta se convierte en una herramienta digital útil para ciclistas y ciudadanía al ofrecer información sobre rutas tranquilas y seguras alternativas a la propia del carril bici dentro de la ciudad. Asimismo, resulta un instrumento de valor para la propia administración local ya que le permite conocer las deficiencias y oportunidades que ofrece el entorno urbano como infraestructura para el uso de la bicicleta. A partir de toda la información cartografiada se obtienen algunas conclusiones como la identificación de zonas o barrios mejor conectados (mediante el uso de la bicicleta), discontinuidades o puntos de peligrosidad, indicadores y condiciones urbanas que fomentan el uso de la bicicleta (sin necesidad de construir un carril bici) a partir de los que establecer medidas y actuaciones concretas en la ciudad.

## Abstract

The expansion of the bicycle as a means of urban transport in the city of Malaga has been largely achieved thanks to the creation of infrastructures that connect different strategic areas. However, the development of the bike network does not cover all the spaces of the city and this lack of bike lanes in many parts of the city is limiting the use of bicycles as a widespread means of transport.

Some areas of the city do not have bike lanes, simply, because the entire cycling infrastructure plan has not been implemented yet. In other areas of the city, this net has not been developed because there is no place for it, or because it does not fit to certain requirements of the urban space. For example, the historic centre of the city is one of those areas that are not proper for the creation of bike lanes even though the pedestrian streets and restriction of motorized traffic would make the use of bikes a safe means of transport. But, the high concentration of people in the city centre make the use of bicycles very uncomfortable.

As an answer to this problem, this paper presents a study carried out in the city of Málaga within the framework of the "Emerging Technologies for Citizenship" Chair, University of Malaga and Town Hall of Malaga, to map all the spaces of the urban plot that for different reasons (commercial, urban, architectural, social, etc.) are not frequently used by citizens but they meet certain requirements of safety and comfort to be used by cyclers. The mapping of these spaces allows to connect more areas of the city that are not connected by the network of bike lanes.

The mapping of the network of quiet and safe spaces for the bicycle becomes a useful digital tool for cyclists and citizens as it offers information on safe and quiet routes that are alternatives to the bike lane itself within the city. Likewise, it is a valuable instrument for the local administration itself, since it allows local institutions to know about lacks and opportunities in the cities for the use of bicycles. Based on all the city mapped information, some conclusions are obtained such as the identification of areas or neighborhoods that are better connected (through the use of bicycles), discontinuities or danger points, indicators and urban conditions that encourage the use of bicycles from which to establish measures and specific actions in the city.

**Palabras clave:** *Bicicleta; espacios urbanos, tranquilos; seguros; movilidad sostenible*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles del espacio urbano*

## 1. Introducción

La movilidad sostenible es uno de los grandes retos de las ciudades del siglo XXI. Depende de diferentes medidas, como son tráfico calmado, carriles prioritarios para autobuses y vehículos de alta ocupación, coche compartido, mejora de zonas peatonales, mejora del transporte público e infraestructuras para el uso de la bicicleta (Seguí et al., 2015).

La difusión que ha tenido en los últimos años el uso de la bicicleta en las ciudades como una forma más de movilidad urbana, ha hecho que se le reconozca como un medio de transporte urbano (López y Gámez, 2010). Esto la ha convertido en objetivo prioritario de muchas políticas locales en las zonas urbanas (Berloco y Colonna, 2012) y regionales, lo que reduce el protagonismo del coche en las ciudades (Cañavate y Corral, 2004). La comunidad andaluza es uno de los ejemplos a nivel nacional que ha desarrollado estrategias para fomentar el uso de la bicicleta dentro de las ciudades y entre las ciudades, como se deduce del plan andaluz de la bicicleta 2014-2020 (Consejería de Fomento y Vivienda, 2013). En el caso de las infraestructuras para uso de la bicicleta, se necesita la construcción de un viario en cualquiera de sus tipologías: carriles bici, pista bici, acera bici, senda bici, etc. (Bergua, 2002) y la elaboración y distribución de planos de carriles y/o aparcamientos, que animen a su uso (UII, 2008).

En países como Suiza, Alemania, Países Bajos o Dinamarca, la bicicleta es un medio de transporte generalizado desde hace tiempo. En China o India es el principal medio de transporte, mientras que en España es minoritario su uso, aunque es de destacar la incidencia que ha alcanzado en ciudades como Sevilla, Vitoria y San Sebastián. A pesar de su generalización en algunos países o ciudades, las personas que usan la bicicleta pueden ser forzadas a adaptarse a condiciones de uso inadecuadas (Alcántara, 2010). La bicicleta puede circular por la calzada y por las aceras, siempre que no cuente con una infraestructura adaptada a ello (Monzón et al., 2010). En los casos de no poder circular por las aceras, la calzada se muestra peligrosa para su uso, ya sea por la excesiva velocidad de los vehículos a motor, o la inestabilidad de la bicicleta que pone en riesgo la seguridad del ciclista (Dondi et al., 2011). Frente a este problema, la creación de espacios segregados del tráfico a motor hace que más personas comiencen a usar la bicicleta gracias a la protección que ofrecen (Haake, 2009).

Los carriles bici son la infraestructura que más se ha desarrollado en los últimos tiempos para favorecer el uso de la bicicleta en las ciudades españolas, pero, lamentablemente, la baja densidad y cantidad de kilómetros de carriles bici, reduce, en muchos casos, su utilidad para ofrecerse como una alternativa a la circulación con los vehículos a motor. También, el mal diseño de la red de carriles reduce la eficacia de esta infraestructura al no presentar una aptitud idónea para su uso (Sánchez y Vías, 2018).

Frente a estos problemas, los usuarios de la bicicleta generan sus propias alternativas para mejorar la movilidad en aquellos espacios en los que los carriles bici no se han desarrollado lo suficiente para ofrecer una alternativa al tráfico rodado. En esta línea, los ciclistas generan itinerarios que, aun no utilizando un espacio segregado, mejoran la calidad de su recorrido, al reducir la inseguridad asociada a la calzada y el tiempo de desplazamiento, por ejemplo, cuando se circula por calles poco transitadas por peatones o por calles con pocos vehículos motorizados.

Para desarrollar esta idea, es decir, crear itinerarios en las ciudades tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta, el primer paso es la creación de un mapa de la ciudad que muestre los espacios tranquilos y seguros para su uso. Esta línea de trabajo, se enmarca en la red de Cátedras estratégicas financiadas entre el Ayuntamiento de la ciudad de Málaga y la Universidad de Málaga. Concretamente, en un proyecto sobre movilidad sostenible en el marco de la cátedra “Tecnologías emergentes para la ciudadanía” que pretende analizar y

desarrollar itinerarios que maximicen la seguridad del ciclista y minimicen el tiempo de desplazamiento.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es elaborar el primer mapa de espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta en la ciudad de Málaga. Este mapa se obtiene de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que recoge los datos necesarios para un estudio posterior, y más amplio, sobre la movilidad urbana en la ciudad mediante el uso de la bicicleta.

## 3. Zona de estudio

La zona piloto donde se ha realizado el primer ensayo de cartografía de los espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta ha sido la ciudad de Málaga, localizada en el sur de la península Ibérica. Para delimitar el espacio concreto del estudio, se han utilizado como límites la autovía A7 en la zona Norte y Este de la ciudad, el río Guadalhorce en la zona Oeste y el mar en la zona Sur (ver figura 1). En esta investigación se han dejado fuera del análisis los núcleos urbanos de Campanillas, Churriana, Olías y Guadalhorce, por la desconexión que presentan con la ciudad y la necesidad de utilizar vías rápidas, como una carretera o una autovía, que incluso impide el paso de ciclistas por su trazado y la urbanización Pinares de San Antón, por la complejidad de su trazado que limita el uso de la bicicleta.

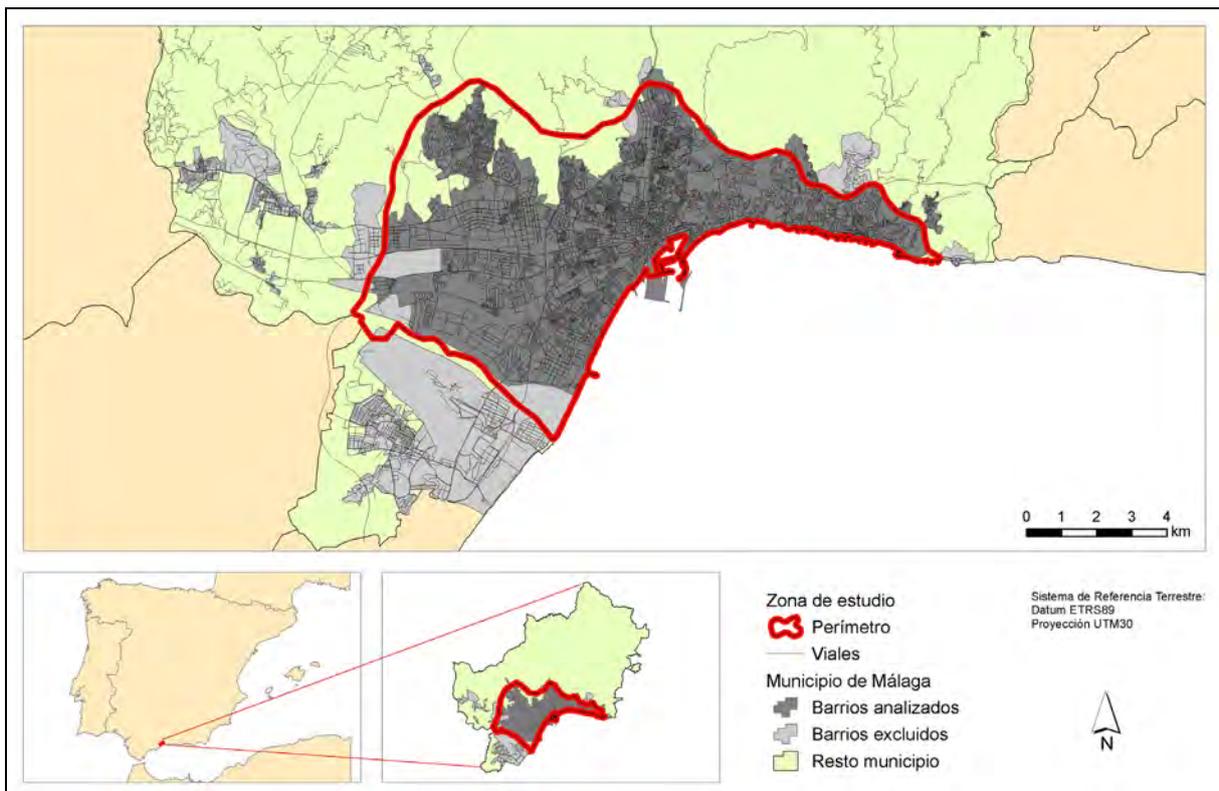


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

En el municipio de Málaga hay 1569'5 km de viales, de los cuales, en la zona de estudio hay 986 km, equivalente al 63 %, es decir, casi 2/3 de los viales del municipio han sido analizados.

Si se atiende al número de barrios, que en el municipio de Málaga asciende a 407 según la cartografía del ayuntamiento, en la zona de estudio hay 315, lo que equivale a más de tres cuartas partes de los barrios del municipio.

## **4. Metodología**

### **4.1 Fuentes cartográficas utilizadas**

La primera tarea fue establecer el elemento de la ciudad que se utilizaría para representar el trazado de los espacios tranquilos y seguros. Para ello, se consultó la información geográfica que proporciona el ayuntamiento en su repositorio institucional a través del geoportal <https://datosabiertos.malaga.eu>. En el apartado de urbanismo e infraestructuras se seleccionó la capa de viales de la ciudad de entre 197 geodatos.

Esta capa de principales viales de la ciudad ha sido modificada en algunos casos para conectar zonas de la ciudad que aparecían desconectadas sin ninguna razón lógica, aun existiendo el vial en la realidad.

### **4.2 Captura de datos**

El estudio de los espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta está basado en dos criterios: que haya una baja concentración de tráfico rodado y baja concentración de peatones.

Para conocer los espacios de la ciudad que cumplen con estas dos condiciones se han utilizado dos estrategias para la recogida de información.

Por un lado, se ha realizado una estrategia de participación ciudadana basada en herramientas de webmapping y redes sociales y, por otro lado, una labor de trabajo de campo. Para la colaboración ciudadana se crearon usuarios en redes sociales para llegar al mayor número de personas posible. También se establecieron contactos con la asociación de ciclistas *Ruedas Redondas*, uno de los mayores colectivos de usuarios de la bicicleta urbana que hay en la ciudad de Málaga que cuenta con cientos de socios y simpatizantes.

#### **4.2.1. WebMapping y redes sociales**

Las herramientas de webmapping, o cartografía online, han permitido obtener información de los usuarios de la bicicleta y, las redes sociales, han sido utilizadas, además de para realizar la difusión entre la comunidad de ciclistas urbanos, para obtener información de potenciales espacios tranquilos.

Para crear la herramienta de webmapping se contó con la colaboración de la empresa Cartometrics. Así se creó un visor y editor web de cartografía online mediante herramientas de software libre, en este caso LeafLet, y se incorporó, como referencia para geolocalizar los espacios tranquilos y seguros, la base cartográfica de MapBox, tanto ortofoto como mapa. También se elaboraron una serie de videos tutoriales en youtube para facilitar el uso de la herramienta de webmapping, la cuál se localiza en un servidor de la Universidad de Málaga con la siguiente url <http://www.catedra-tec-bici.uma.es/>. Posteriormente, también se creó un espacio en Google My Maps (diferente a Google Maps) para aquellas personas que estaban familiarizadas con las herramientas de webmapping de Google (<https://goo.gl/qvLftp>).

En cuanto a la utilización de las redes sociales, se crearon usuarios en Facebook y Twitter <https://www.facebook.com/TEC.espacios.bicicleta/> y <https://twitter.com/TECEspaciosBici>, respectivamente, para realizar la mayor difusión posible entre los usuarios de la bicicleta, con el objeto de solicitar su colaboración en la utilización de las herramientas de webmapping. Posteriormente, también se observó que se podían utilizar las redes sociales

no solo para hacer difusión de las herramientas, sino también para obtener información de donde se localizan los espacios tranquilos, ya que solo era necesario escribir un comentario en la página de Facebook indicando el nombre de la calle que cumplía con los requisitos demandados.

#### **4.2.2. Trabajo de campo**

Por otro lado, se ha realizado trabajo de campo con el objeto de confirmar los espacios que previamente habían sido obtenidos mediante la participación ciudadana y completar las zonas de la ciudad de las que no se había obtenido información.

Para realizar esta tarea, todos los viales de la zona de estudio han sido recorridos en bici por un conocedor de la trama urbana de la ciudad, con años de experiencia en el uso de la bicicleta. Aun así, las calles de las que no se tenía conocimiento previo, fueron visitadas en dos ocasiones y también se consultaron en Google Street View y fotos 360 de Google Maps como apoyo para su catalogación como espacios tranquilos y seguros.

Del estudio han quedado eliminados viales que no tienen salida, viales que tienen restringido su tránsito durante parte del año (caso del recinto ferial), viales internos de comunidades de vecinos (caso de la urbanización de Mundo Nuevo), viales con obstáculos (del tipo escalones o muros en cambios de nivel), viales de zonas en construcción (caso de la urbanización Colinas del Limonar) y viales que tienen restringido el uso de la bicicleta (caso de autovías). Estas excepciones reducen el total de kilómetros de análisis a 838 km, lo que equivale al 85%, aprox., del total de km de viales que hay en la zona de estudio.

El trabajo de campo se realizó durante cuatro meses, dos de verano y dos de invierno. Si se tiene en cuenta que el trabajo de campo se ha desarrollado en días laborales, el resultado es de 80 días de trabajo, aprox., lo que implica una media de 10'5 km de viales analizados diariamente. El recorrido de los viales se realizaba en las horas centrales de la mañana, entre las 10:00 y las 13:00, cuando más actividad hay en la calle, y la tarde se dedicaba al trabajo de oficina con el SIG.

#### **4.3. Catalogación de los viales**

Los viales de la ciudad se han clasificado en tres categorías en función de la concentración de vehículos y peatones. De las tres categorías, dos son fáciles de reconocer. Por un lado, las zonas tranquilas que son aquellas por las que no hay tráfico de vehículos y personas o, si lo hay, es mínimo y no dificulta el paso de la bicicleta. En el otro extremo estarían los viales masivamente frecuentados de vehículos y de peatones, lo que imposibilita el uso de la bicicleta. En medio de estos dos extremos hay una serie de situaciones que en ocasiones dificulta su definición y catalogación, pero que, en cualquier caso, no presentan un problema con el objetivo del trabajo, puesto que por una razón u otra no son espacios tranquilos y seguros.

Los viales que han sido clasificados como poco frecuentados por peatones se ha puntuado con un valor 1, al igual que los viales con escasa o nula presencia de coches. En cambio, las calles con gran volumen de tráfico rodado o alta masificación de peatones se han clasificado con valor 3. Para el resto de situaciones, se le ha asignado el valor 2 a los viales.

Las posibles combinaciones que se derivan de puntuar los viales en función de la masificación de vehículos y peatones, 9 en total, se muestran en la siguiente tabla 1 y se indica la catalogación realizada mediante el uso del color. Así, aparecen en verde los viales tranquilos y seguros y en rojo los masificados y no recomendables. En amarillo están las combinaciones, clasificadas como indefinidas, que no presentaban una clara adscripción.

**Tabla 1: Combinaciones según tipo y subtipos de viales**

		Concentración de peatones		
		Alta (3)	Moderada (2)	Baja (1)
Concentración de vehículos	Alta (3)	3-3	3-2	3-1
	Moderada (2)	2-3	2-2	2-1
	Baja o nula (1)	1-3	1-2	1-1

A modo de ejemplo, se adjuntan dos fotografías, en la figura 2, en las que se puede apreciar qué se ha catalogado como una calle tranquila y qué tipo de calle se considera masificada. Las imágenes utilizadas son calles paralelas con una distancia de separación entre ellas de 20 metros. En una de ellas, derecha, se concentra la población por motivos de ocio (sobre todo en fin de semana) que, junto con el mobiliario de los comercios, impide la circulación en bicicleta. En la otra fotografía, izquierda, la calle está vacía porque no está permitida la circulación de vehículos a motor, no se utiliza comercialmente y tampoco es zona de paso, ni siquiera en momentos de máxima aglomeración de las calles adyacentes.



**Figura 2. Ejemplo de calle tranquila (izquierda) y calle masificada (derecha).**

Siguiendo el ejemplo de la tabla 1, la fotografía de la izquierda (figura 2) corresponde con un vial clasificado como 1-1, es decir, tranquilo y seguro, dado que no hay tráfico de vehículos y la concentración de peatones es mínima. La fotografía de la derecha se corresponde con un vial del tipo 1-3, masificado por la elevada concentración de peatones y la ocupación del espacio por mobiliario comercial, aunque no tenga circulación de vehículos.

Una vez que se tenían catalogados los espacios de la ciudad en las tres categorías comentadas, el siguiente paso fue introducir los datos en un Sistema de Información Geográfica, en este caso de software libre: QGIS 2.18. La capa de viales procedente del repositorio del ayuntamiento es de tipo vectorial, concretamente, polilíneas en formato

shapefile. Los geodatos vectoriales permiten adjuntar diversos atributos a una misma entidad geográfica, lo cual, en este caso, fue muy práctico, porque permitió almacenar información sobre la catalogación realizada de masificación de personas y vehículos, longitud de viales, zona de la ciudad (barrio y distrito) y definición de los viales como tranquilos, masificados o indefinidos.

## 5. Resultados

De los 838 km de viales analizados en la zona de estudio, 63 km cumplen con la condición de ser espacios tranquilos y seguros, lo que equivale a un 7'6% de la cantidad de kilómetros estudiados. El resto lo forman viales masificados por peatones o vehículos (41 %) y un 51,4 % de viales indefinidos, ya que presentan características de espacios tranquilos, pero no llegan a ser definidos como tal por las condiciones de la acera, que limitan la seguridad del peatón o del propio ciclista, o por la concentración de vehículos y/o peatones.

La cantidad de kilómetros de viales en función de la clasificación realizada por la concentración de vehículos o peatones, se muestra en la tabla 2. En ella se puede observar que la clase predominante es la 2-1, la cual se corresponde en multitud de casos con viales que no tienen mucha circulación de vehículos y tienen poco tránsito de peatones. En la clase 2-2 se dan circunstancias parecidas a la clase anterior, pero la mayor presencia de peatones o la presencia de aceras estrechas que dificultan el paso de los ciclistas y, además, suponen un obstáculo para el paso de los peatones, reducen su utilidad y, por tanto, no se clasifican como tranquilas y seguras.

Por el contrario, los tipos de viales menos frecuentes son los del tipo 1-3, es decir, sin tráfico y muy masificados de peatones, caso de calles turísticas y comerciales (como calle Larios y alrededores) y del tipo 1-2, caso de algunas calles con tráfico restringido y con cierta masificación de turistas.

**Tabla 2: Estadísticas básicas según tipos y subtipos de viales**

Tipo de vial	Categorías por concentración de vehículos y peatones	Longitud (m)	%
Tranquilo	1-1	63443,9	7,6
Indefinido	1-2	18896,9	2,3
	2-1	244803,3	29,2
	2-2	167669,5	20,0
Masificado	1-3	7121,0	0,8
	2-3	46006,2	5,5
	3-1	134254,5	16,0
	3-2	90529,7	10,8
	3-3	65760,1	7,8
Total de metros de viales clasificados		838485,0	100,0

En el mapa de la figura 3, se puede observar que donde más predominan los espacios tranquilos es en la zona centro y suroeste de la ciudad. En cambio, destacan viales masificados en la parte oeste, la cual se corresponde, en gran medida, con los polígonos empresariales de la ciudad y con el barrio Puerto de la Torre.

El distrito del Centro es el que presenta más kilómetros de espacios tranquilos, 23 km aprox., mientras que el distrito de Carretera de Cádiz cuenta con 12 km. la mitad aprox. Le siguen Cruz de Humilladero con 10'5 km y Málaga Este con 5 km. Dentro del distrito Centro, el barrio que mayor cantidad de kilómetros de espacios tranquilos tiene es el Centro Histórico con 4'9 km seguido de la Trinidad Este con 3'1 km, Perchel Norte con 1'6 km y La Goleta con 1'5 km.

En el mapa de la figura 4, se observa que, en el barrio del Centro Histórico, la zona con mayor número de kilómetros de espacios tranquilos y seguros se localiza en la parte Norte del barrio, lo que coincide con las calles aledañas a la antigua muralla musulmana de la época medieval. En cambio, los espacios más masificados y menos recomendables para el uso de la bicicleta, en el Centro Histórico, coinciden con la zona del Parque en la parte Sur, el túnel de Alcazabillas en la parte Este y, sobre todo, con el entorno de calle Larios, principal eje turístico y comercial de la ciudad.

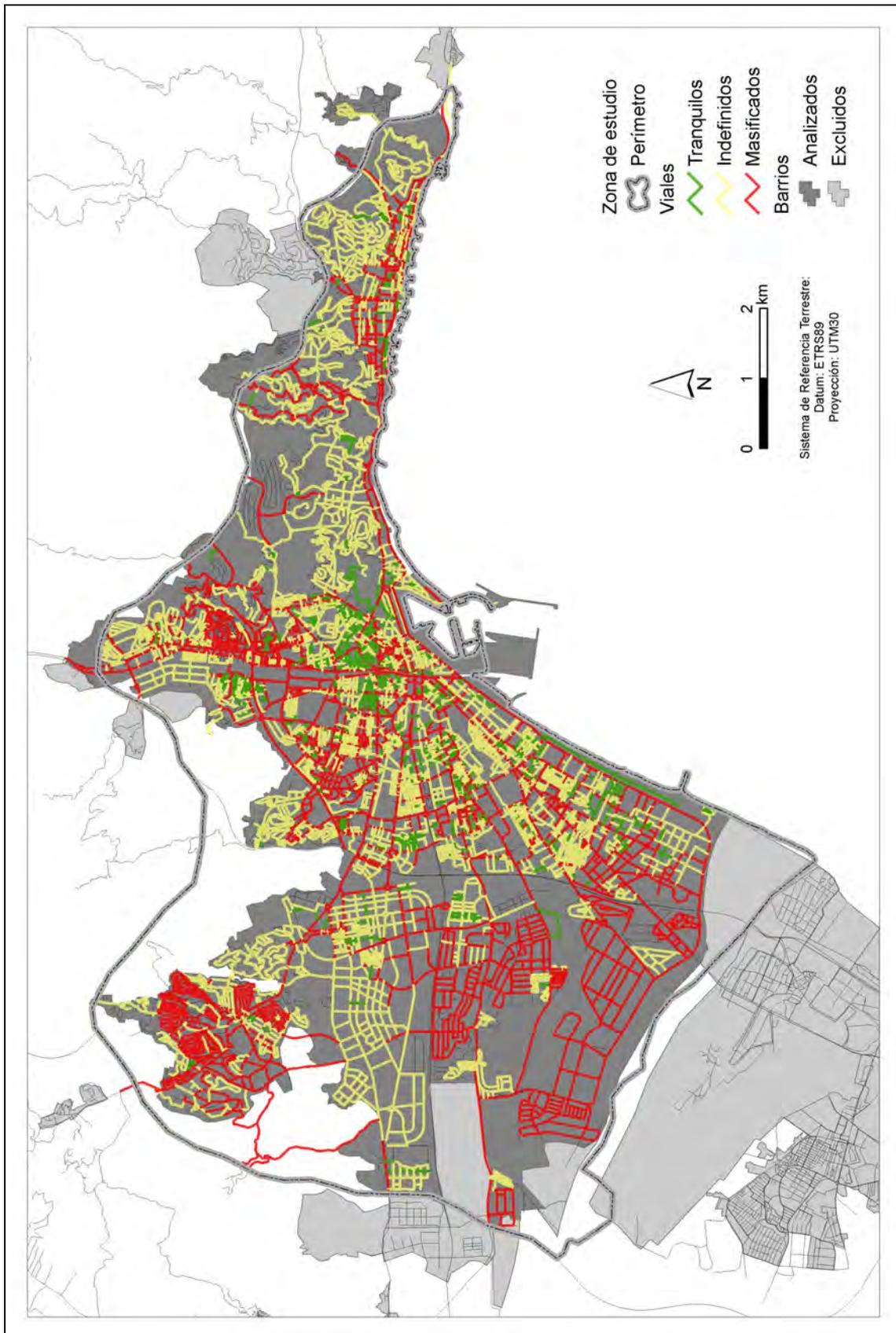


Figura 3. Mapa de espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta en la ciudad de Málaga.

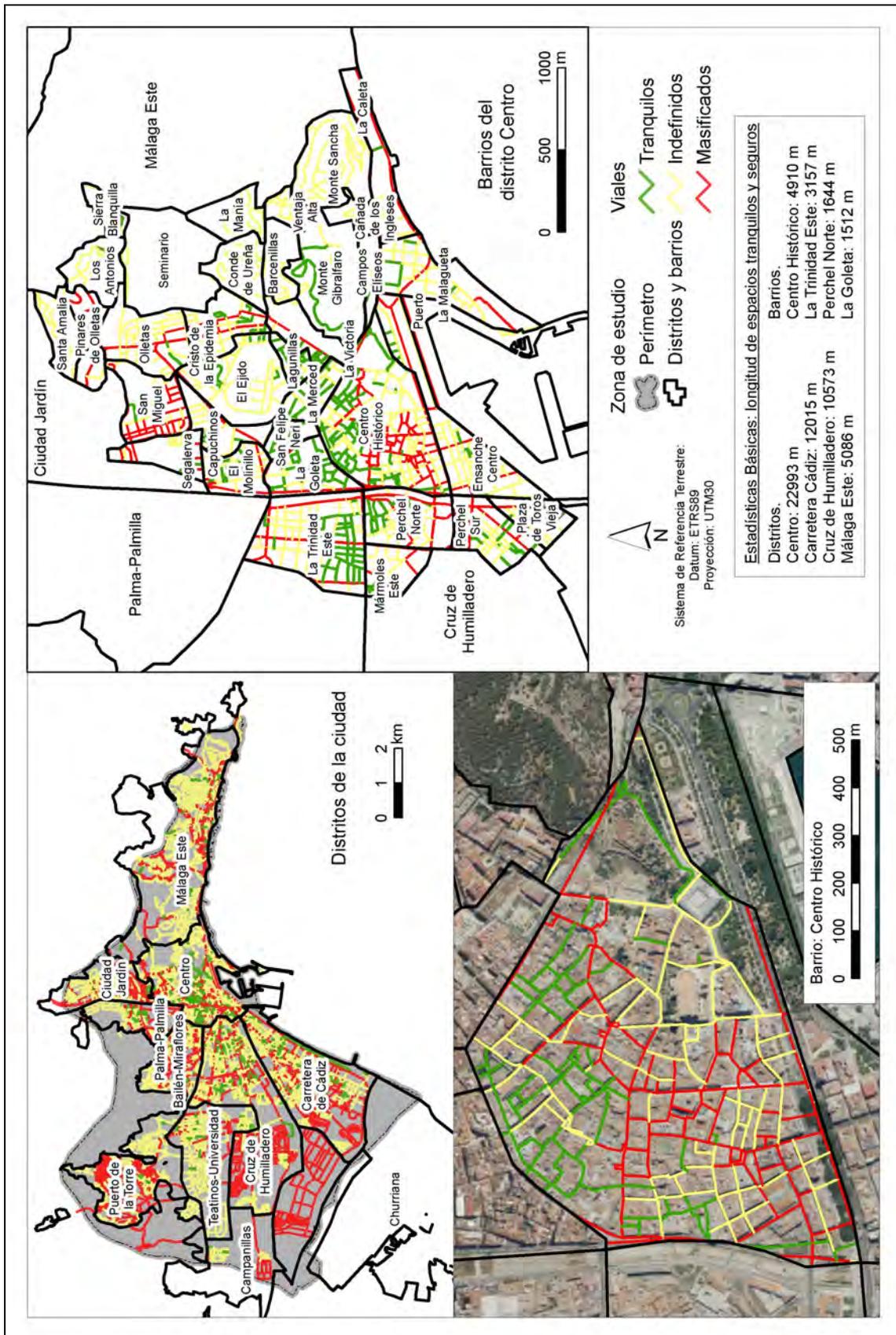


Figura 4. Distrito y barrio de la ciudad de Málaga con mayor cantidad de metros catalogados como espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten conocer donde se localizan los espacios tranquilos y seguros para el uso de la bicicleta, y así fomentar la movilidad sostenible de las ciudades en aquellos espacios que no tienen las infraestructuras adecuadas para ello. La existencia de estos espacios mejora la calidad de los desplazamientos de los ciclistas al aportar confort y rapidez en parte de los itinerarios utilizados. El interés de este mapa no reside en utilizar los espacios tranquilos para huir de la adaptación de la trama urbana a las necesidades de movilidad sostenible de las ciudades del siglo XXI, sino en mejorar el desplazamiento de los ciclistas por aquellas zonas de la ciudad, en las que todavía no se han acometido las infraestructuras necesarias para alcanzar un modelo de movilidad sostenible.

El conocimiento de la localización de estos espacios, permite mejorar los itinerarios al incorporarlos en los análisis de redes y forzar la creación de una ruta que utilice prioritariamente este tipo de espacios. La creación de las categorías que permite clasificar cada uno de los espacios en función de la concentración de vehículos y peatones por las aceras y calzadas, permitirá encontrar la solución más óptima durante los desplazamientos al minimizar el uso de los viales que se encuentren masificados, priorizando los espacios tranquilos o, al menos, poco masificados.

En el extremo opuesto están los espacios masificados que no fomentan el uso de la bicicleta y, por lo tanto, este tipo de mapa se convierte en un instrumento de ayuda a la planificación de infraestructuras que mejoren la movilidad sostenible en las ciudades. La localización de espacios masificados permite intervenir en la ciudad para mejorar la movilidad mediante la creación de calles a un mismo nivel (sin aceras) que reducen la inseguridad de los ciclistas al disponer de más espacio de movimiento, también mediante la creación de áreas 30 / tráfico calmado que reduce la inseguridad del ciclista al adaptar la velocidad del vehículo a la del ciclista o, sobre todo, también mediante la creación de carriles bici.

La participación ciudadana es un valioso instrumento que permite obtener grandes volúmenes de información de forma colaborativa y rápida. Su uso en el marco de este trabajo no ha dado los resultados esperados y la captura de datos se ha producido casi en su totalidad mediante el trabajo de campo. La participación ha sido muy baja (unas diez personas) y no han aportado información relevante, salvo en un caso. El resto hacían referencia a los carriles bici ya existentes, o no trazaban correctamente las rutas porque no eran capaces de utilizar las herramientas ofrecidas. Para obtener mejores resultados procedentes de la participación ciudadana, puede que sea necesaria la presencia de la figura del community manager o dinamizador de redes sociales en el equipo de trabajo, para que se dedique a movilizar las redes sociales y sacar el máximo partido de las herramientas de trabajo colaborativo. En este caso, el trabajo de campo ha sido la herramienta fundamental para obtener la información de donde se localizan los espacios tranquilos y seguros.

La siguiente fase de trabajo en el marco de la Cátedra Tecnologías Emergentes para la Ciudadanía, será la realización de una segunda etapa de participación ciudadana y trabajo de campo, con el propósito validar los espacios tranquilos y seguros propuestos, además de crear una geoportail web que permitirá visualizar los resultados obtenidos en el proyecto.

## REFERENCIAS

Alcántara, E. (2010). Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad. Banco de Desarrollo de América Latina (CAF), Bogotá. 202 p.

Bergua, E. (2002). Los caminos de la ciclabilidad traspasando las vías ciclistas. Boletín CF+S: Ciudades para un futuro más sostenible, N° 19. Madrid.

Berloco N. y Colonna P. (2012). Testing and Improving Urban Bicycle Performance. Procedia - Social and Behavioral Sciences, Vol 53. pp. 72-83.

Cañavate, J.L. y Corral, C. (coords.) (2004). La bicicleta como medio de transporte en Andalucía. Consejería de Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía. 182 p.

Consejería de Fomento y Vivienda. Junta de Andalucía (2013). Plan Andaluz de la Bicicleta 2014-2020. Secretaría General Técnica, Servicio de Publicaciones. Sevilla. pp.174.

Dondi, G.; Simone, A.; Lantieri, C. y Vignali, V. (2011). Bike lane design: the context sensitive approach. Procedia Engineering, Vol 21, pp 897-906.

Haake, B. (2002). The importance of Bicyclist Education. En Bicycle education (Whitelegg, J. Ed.). World Transport Policy & Practice, Vol. 15, N° 1. pp 47-56

López, R. y Gámez, M. (coords.) (2015). Plan Especial de Movilidad Urbana Sostenible (PEMUS). Área de accesibilidad y movilidad. Ayuntamiento de Málaga. 443 p.

Monzón, A.; Cascajo, R.; Muñoz, B. y Alonso, A. (2010). "Observatorio de la Movilidad Metropolitana. Informe anual". TRANSyT, Centro de Investigación del Transporte, Universidad Politécnica de Madrid. Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. 129 p.

Sánchez, M. y Vías, J. (2018). Ensayo metodológico para evaluar y cartografiar la aptitud de los carriles bici urbanos. aplicación a la ciudad de Málaga. Andalucía Geográfica. Monográfico N° 11: Movilidad sostenible en Andalucía. Revista del Colegio de Geógrafos de Andalucía. Sevilla. pp. 56-67.

Seguí, J. M., Mateu, J., Ruiz, M., y Martínez M. R. (2015). Los sistemas de bicicleta pública y la movilidad urbana sostenible. Un análisis en la ciudad de Palma (Mallorca, Islas Baleares). Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles, N° 71. pp. 227-245.

Ull, A. (2008). El impacto de la actividad universitaria sobre el Medio Ambiente. Revista Eureka sobre Enseñanza, Divulgación y Ciencia, Vol. 5, N° 3, pp. 356 - 366.

### **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Jesús Vías Martínez  
Teléfono: +952 133 443  
E-mail: [jmvias@uma.es](mailto:jmvias@uma.es)

### **Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Tatiana Delgado  
Alexander Sánchez  
*Unión de Informáticos de Cuba.*  
Raymari Reyes  
*Universidad de Pinar del Río.*

**LABORATORIOS URBANOS PARA  
CIUDADES INTELIGENTES:  
PRIMEROS PASOS EN MUNICIPIOS  
CUBANOS**

### Resumen

Este trabajo pretende poner de relieve algunas acciones habilitantes para fomentar ecosistemas locales de innovación digital para potenciar ciudades más inteligentes y sostenibles en el contexto cubano. Para ello, y luego de establecer las bases teóricas principales en relación a ecosistemas de innovación y ciudades inteligentes, se aborda un marco metodológico que ha desarrollado la Unión de Informáticos de Cuba, basado en la creación de Laboratorios Urbanos para Ciudades Inteligentes, y se enfoca su implementación en dos ciudades cubanas: Habana Vieja, en el corazón de la capital, y la ciudad de Pinar del Río, cabecera de la provincia de igual nombre que está situada en la porción más occidental del país. Como parte de este proceso, se muestran algunos avances en investigación, pruebas de concepto y prototipos de ciudad inteligente que se están desarrollando orientados, entre otras, a tecnologías disruptivas como IoT, Big Data, Blockchain y Fog Computing. También se abordan las relaciones económicas e institucionales que se están construyendo para hacer sostenibles los avances alcanzados y con la meta de crear una Red de Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes a lo largo del país, como antesala del despliegue de efectivas ciudades inteligentes y sostenibles.

### Resumen en Inglés

This work is aimed to show some enabling actions to foster local innovation digital ecosystems with the view to strengthen smarter and sustainable cities. After the main theoretical foundations regarding innovation ecosystems and smart cities are established, a methodological framework based on urban labs for smart cities, developed by the Union of Informatics professionals of Cuba, is described. Its partial implementation in two Cuban cities: the Old Havana and the city of Pinar del Río, in the western area of the country, is also approached. As part of this process, some progresses on research, proof of concepts and prototypes, oriented to disruptive technologies as IoT, Big Data and Fog Computing, are discussed. Furthermore, it is presented the economic and institutional relationships which are being generated to sustain the stages reached so far, and with the goal to build a Network of Smart City Urban Labs through the whole country, as an anteroom of the deployment of effective smart and sustainable cities.

**Palabras clave:** *ecosistemas digitales de innovación, ciudades inteligentes, IoT, Fog Computing*

**Área temática:** *Ciclo de vida de la ciudad y sus construcciones (transformación digital).*

## 1. Introducción

Las dinámicas de la actividad humana, unido a la concentración creciente de población en áreas urbanas está generando grandes desafíos en las ciudades modernas. Esta necesidad encuentra en el vertiginoso desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones una posibilidad de hacer más confortable y sostenible la vida en las ciudades.

Cada vez con más frecuencia, se desarrollan ecosistemas de actores conscientes y comprometidos para enfrentar los desafíos urbanos de las ciudades actuales, con un marcado enfoque al ciudadano. El llamado ciudadano inteligente es el máximo protagonista de una ciudad inteligente, quien, equipado y usuario activo de las TIC, tiene capacidad y oportunidad de gestionar su entorno y desarrollar acciones de participación ciudadana, de ahorro de energía y de gestión responsable de recursos naturales, de reciclaje, de movilidad colectiva o no contaminante, de cuidado del entorno y de seguimiento del desempeño de la Administración pública local para con sus actuaciones contribuir a la construcción y consolidación de la ciudad inteligente y sostenible (Ontiveros, Vizcaíno y López Sabater 2016).

Entre los enfoques de innovación abierta más conocidos y generalizados para el sector público se encuentran los Laboratorios urbanos o vivientes (*living/urban labs*), que se definen como espacios de co-creación entre investigadores, desarrolladores, ciudadanos y administradores públicos que facilitan la simulación, experimentación y demostración de tecnología. Son modelos y espacios para la demostración y testeo temprano de soluciones innovadoras de aplicación a la ciudad (Delgado Fernández, y otros 2018).

El tema urbano está ubicado en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas como uno de carácter transversal para el desarrollo sostenible (Naciones Unidas 2015). La inclusión del Objetivo 11 “Lograr que ciudades y asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” como uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) fue determinante, al situar la urbanización y el desarrollo urbano y territorial en el centro del desarrollo sostenible, reconociendo su importancia para el bienestar de la población y el desarrollo económico social y ambiental (CEPAL 2017).

Acorde a la Nueva Agenda Urbana (NAU), adoptada entre el 17 y el 20 de octubre de 2016 en Quito por Naciones Unidas en la Conferencia Habitat III (Naciones Unidas 2016), que marca los lineamientos para el desarrollo de ciudades y asentamientos humanos durante los próximos 20 años, la visión para el desarrollo urbano sostenible en América Latina y el Caribe busca expresar cómo se quiere que sean las ciudades y asentamientos humanos de la región en el año 2036. Tal visión quedó establecida por la CEPAL como sigue: “Ciudades y asentamientos humanos de América Latina y el Caribe inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, reconocidos como macro-bienes públicos, creados por y para la ciudadanía, con igualdad de derechos y oportunidades, con diversidad socio-económica y cultural, que fomenten la prosperidad y la calidad de vida para todos y se relacionen de manera sostenible con su entorno y su patrimonio cultural y natural” (CEPAL 2017).

Las Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social al 2030 incluyen en su eje estratégico “Infraestructura” un objetivo específico que se propone “Garantizar el desarrollo sostenible de las ciudades...(...) asegurando su infraestructura técnica y de servicios, y en correspondencia con el ordenamiento territorial” (ANPP 2017).

Este trabajo pretende poner de relieve algunas acciones habilitantes para fomentar ecosistemas locales de innovación digital con vistas a potenciar ciudades más inteligentes y sostenibles en el contexto cubano. Particularmente, se trata de socializar una experiencia que se está llevando a cabo en el marco de la Plataforma Articulada de Desarrollo Integral

Territorial (PADIT). PADIT es un programa marco para el desarrollo territorial cubano que propicia el fortalecimiento de las capacidades institucionales en materia de planificación y gestión del desarrollo territorial; los procesos de descentralización; y el desarrollo económico y social a nivel territorial. Bajo el liderazgo del Ministerio de Economía y Planificación, el Ministerio de Comercio Exterior y la Inversión Extranjera, y del Instituto de Planificación Física, y apoyado por varias agencias internacionales, encabezadas por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), esta plataforma se orienta a diferentes contextos de actuación territorial. Uno de estos contextos es el relacionado con el uso más eficiente y eficaz de las Tecnologías de Información y Comunicaciones (TIC) para mejorar las capacidades del gobierno y actores locales en su relación con el ciudadano. Las acciones que impactan en este contexto están siendo lideradas por la Unión de Informáticos de Cuba, que actúa como articulador del resto de los actores del territorio para estas actividades.

El presente trabajo está enmarcado en uno de los resultados esperados de las acciones de la UIC en esta plataforma de desarrollo territorial, concretamente, la encaminada a dinamizar la innovación abierta para favorecer la transformación digital de las ciudades cubanas.

## **2. Objetivos**

Siendo el objetivo general de este trabajo socializar el estado actual de los ecosistemas de innovación digital de ciudades inteligentes en Cuba, a partir de la plataforma PADIT, los objetivos específicos pueden enunciarse como sigue:

1. Presentar un marco metodológico soportado en un análisis de la literatura
2. Mostrar algunos discretos avances de la implementación del referido marco metodológico en dos municipios cubanos

## **3. Metodología**

La metodología de abordaje en este artículo se puede resumir en los siguientes aspectos

1. Investigación de las bases teóricas y referentes principales relacionados con los ecosistemas de innovación digital, ciudades inteligentes y sostenibles, y los referentes metodológicos principales que se encuentran en la literatura de acceso abierto, utilizando bases de datos indexadas, otros motores de búsqueda de documentación; así como, los estudios regionales asociados a políticas digitales y gobierno electrónico, principalmente donde se involucra la CEPAL.
2. Propuesta de un marco metodológico para desarrollar ecosistemas de innovación para ciudades inteligentes a través de los Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes, contextualizado en ciudades cubanas.
3. Presentar casos de estudio en marcha de Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes en dos ciudades cubanas

Cada uno de estos aspectos será desarrollado en los próximos sub-acápites.

### **3.1 Bases teóricas**

#### Ciudades Inteligentes y Sostenibles

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha desarrollado y consensuado internacionalmente una definición de ciudad inteligente y sostenible, la cual se enuncia seguidamente:

*“Una ciudad inteligente y sostenible es una ciudad innovadora que usa las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y otros medios para mejorar la calidad de vida, la eficiencia de la operación y los servicios urbanos, y la competitividad, mientras asegura que se satisfacen las necesidades de las generaciones presentes y futuras con respecto a los aspectos económicos, sociales y ambientales, así como culturales”. (ITU 2016).*

Se reconocen internacionalmente un grupo de tecnologías habilitadoras de las ciudades inteligentes y sostenibles, algunas de las cuales se relacionan a continuación:

- Internet de las Cosas o IoT (por sus siglas en inglés) puede concebirse como una infraestructura global de la sociedad de la información, que permite ofrecer servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la interoperabilidad de tecnologías de la información y la comunicación (TIC) presentes y futuras (UIT-T 2012). Usando identificación de radio frecuencia (RFID), sensores infrarrojos, el sistema global de posicionamiento por satélite (GPS), escáner láser y otros dispositivos, la Internet de las Cosas conecta las cosas con Internet basado en protocolos y conduce el intercambio de información y comunicación para conseguir identificación inteligente, posicionamiento, seguimiento, monitoreo y gestión (CEPAL 2018).
- Computación en la nube es el paradigma que habilita acceso de redes para un grupo elástico de recursos físicos y virtuales con aprovisionamiento de auto-servicio y administración bajo demanda (ITU-T 2014). La computación en la nube está bajando a entornos más cercanos de los dispositivos en la red, en lo que se ha denominado, la computación en la niebla y la computación en el borde, que extienden la computación en la nube cerca o hasta los dispositivos o usuarios finales (León et al,2018).
- Big Data se refiere a las tecnologías y servicios que extraen información valiosa de conjuntos de datos extensos, variados y veloces que se generan por los miles de millones de dispositivos desplegados en la Internet de las Cosas. Emplea tecnologías provenientes de la Inteligencia Artificial como aprendizaje automático.
- Tecnología móvil y 5G, la quinta generación de la telefonía será clave para habilitar las ciudades inteligentes, con mayor capacidad de transferencia y conectividad, la resolución de trámites y gestión de tareas y procesos se llevará a cabo en dispositivos cada vez más avanzados.
- Datos abiertos: Filosofía y práctica que persigue que determinados tipos de datos (públicos) estén disponibles de forma libre para todo el mundo, sin restricciones de derechos de autor, de patentes o de otros mecanismos de control. Se relaciona con el denominado Gobierno Abierto, que persigue que los ciudadanos colaboren en la creación y la mejora de servicios públicos y en la ganancia de robustez por parte de la transparencia y la rendición de cuentas.

Más recientemente están emergiendo otras tecnologías, como las cadenas de bloques (blockchain), popularizadas por su impacto en el despliegue de criptomonedas con la plataforma pionera bitcoin, y cuya expansión está comportándose exponencialmente, surgiendo nuevas plataformas que cada vez se aplican más a entornos de gobierno y administración pública. En particular, habrá que prestar atención a la evolución de las aplicaciones del blockchain en el llamado Gobierno Autónomo Distribuido (DAG – por sus siglas en inglés) (Jun 2018).

Sin embargo, la tecnología en sí misma no hace a una ciudad más inteligente; lo relevante es cómo la tecnología se usa para soportar colaboración entre actores de la ciudad con el fin de alcanzar un desarrollo más efectivo, próspero y sostenible. Por lo tanto, es esencialmente

un fenómeno tecno-social, donde la tecnología juega el rol de herramienta para apoyar la colaboración. Esta perspectiva tecno-social ubica al ciudadano en el centro.

El otro aspecto a resaltar de la definición ofrecida para ciudades inteligentes y sostenibles es precisamente el de la sostenibilidad. Acorde a (ITU-T 2016), la sostenibilidad de una ciudad inteligente está basada en cinco aspectos principales:

- Económico: La habilidad de generar ingresos y empleo para el sustento de sus habitantes.
- Social: La habilidad para asegurar que el bienestar (seguridad, salud, educación, etc.) de los ciudadanos pueda ser igualmente entregado sin considerar las diferencias de clases, razas o género.
- Ambiental: La habilidad de proteger la calidad y reproductibilidad futura de los recursos naturales.
- Gobernanza: La habilidad de mantener condiciones de estabilidad, democracia, participación y justicia.
- Cultural: La habilidad de promover identidad cultural y bienestar emocional y cultural.

#### Ecosistemas de Innovación digital

La Organización para el Desarrollo y la Cooperación Económica (OECD) define innovación como: *“producción o adopción, asimilación y explotación de nuevo valor agregado en esferas económicas y sociales: renovación y agrandamiento de productos, servicios y mercados; desarrollo de nuevos métodos de producción; y establecimiento de nuevos sistemas de gestión. Innovación es un proceso y un resultado”* (Edison, Ali y Torkar, 2013).

El concepto innovación ha ido evolucionando en las últimas décadas hacia la denominada innovación abierta. El término de *innovación abierta* se atribuye a Henry Chesbrough, director ejecutivo del Open Innovation Center de la Universidad de Berkeley. Chesbrough define innovación abierta como “el paradigma que asume que las firmas pueden y deben usar ideas externas al igual que ideas internas, y caminos internos y externos para el mercado” (Chesbrough, 2006). Los procesos de innovación abierta combinan ideas internas y externas dentro de las arquitecturas y sistemas, cuyos requerimientos se definen mediante modelos de negocio que a su vez utilizan ideas internas y externas para crear valor.

EUA, después de la crisis financiera y económica de 2008, vio crecer iniciativas similares de innovación. Brad Feld, en su libro *“StartUp Communities: Building an entrepreneurial ecosystem in your city”* (Feld 2012) hace un poco de historia de este despegue y el impacto que tuvo también en la creación de nuevos empleos.

En la región de Latinoamérica y el Caribe, en 2016 se habían puesto en práctica laboratorios urbanos en 17 ciudades, habiendo contribuido a los planes de acción de estas ciudades (Krebs 2017).

Uno de los retos que tienen los ecosistemas de innovación abierta para ciudades inteligentes es la carencia de modelos de negocio apropiados para que tales ecosistemas sean sostenibles. Los modelos de negocio tradicionales no crean suficiente valor, ni confianza para los actores del ecosistema.

Según la Comisión Europea (EC, 2013) los modelos de negocio para ciudades y comunidades inteligentes deben contar con un enfoque modular para soluciones de ecosistemas locales. Para estos autores, los ecosistemas locales son colaboraciones entre la industria, las agencias de gobierno y los ciudadanos para satisfacer metas locales específicas. En este trabajo se aborda el concepto de ecosistema local de innovación incluyendo la academia, que juega un rol fundamental en la provisión de productos de alto

valor agregado, y la sociedad civil; es decir, las organizaciones sociales sin fines de lucro, organizaciones no gubernamentales y agencias de cooperación, entre otros articuladores del desarrollo territorial.

Los ciudadanos juegan un rol fundamental en los ecosistemas locales de innovación, en los cuales se involucran como proveedores más que como usuarios, a través de las redes sociales o directamente en los laboratorios urbanos.

### **3.2 Marco metodológico para apoyar laboratorios urbanos de ciudades inteligentes y sostenibles**

Antes de presentar y discutir el marco metodológico propuesto, se ofrecerán las principales premisas asociadas al mismo, las cuales están enmarcadas en tres contextos: institucional, tecnológico y humano.

#### Premisas asociadas al marco metodológico

##### Contexto institucional

1. Existencia de políticas del gobierno nacional y/o local que favorezca el despliegue de soluciones digitales innovadoras para los ciudadanos.
2. Existencia de espacios físicos con condiciones mínimas para establecer el Laboratorio Urbano, con apoyo del gobierno local.
3. Coordinación de la iniciativa por una personalidad jurídica que tenga mecanismos de gobernanza para sostenerse.

##### Contexto tecnológico

4. Existencia de una infraestructura de infocomunicaciones y conectividad mínima para realizar las demostraciones de ciudad inteligente a través de la innovación de los actores del ecosistema.
5. Kit de tecnología mínima para experimentar soluciones IoT (ej: Raspberry Pi, tarjetas Arduino, sensores y actuadores varios, etc) y un número imprescindible de computadoras personales (solo las que se requieran en la coordinación y/o la capacitación).

##### Contexto humano

6. Actores locales con capacidades para la articulación a favor de la innovación para el desarrollo.
7. Conciencia y compromiso de los directivos del gobierno local con la iniciativa de innovación digital para apoyar la gestión de la ciudad y con enfoque al ciudadano.
8. Capital humano semilla (universidades, sector público y no estatal, empresas) que facilite el avance de la iniciativa.

#### Marco metodológico

El marco metodológico es una aproximación creada por los autores, considerando algunos referentes de buenas prácticas internacionales y sus propias experiencias en la coordinación de dos proyectos de Laboratorios Urbanos para ciudades inteligentes en marcha.

Consiste de 4 etapas que abarcan 9 pasos:

##### Etapa I – Alistamiento del contexto local (institucional, tecnológico y humano)

1. Capacitación de los directivos del gobierno en temas básicos de Gobierno e innovación digital.

2. Concientización del ecosistema “candidato” local para la conformación del equipo de proyecto.
3. Pre-diagnóstico de condiciones tecnológicas existentes en la ciudad
4. Elaboración para el proyecto del laboratorio, presentación a las fuentes de financiamiento identificadas (este paso termina con la aprobación del proyecto y obtención de los fondos).
5. \* Acondicionamiento del (de los) local(es) para el(los) Laboratorio(s).

#### Etapa II – Desarrollo del proyecto de Laboratorio

6. Oficialización del equipo de proyecto, con los arreglos de gestión necesarios para que funcione.
7. Adquisición de mobiliario, equipos y accesorios genéricos del Laboratorio Urbano de Ciudades Inteligentes
8. Conformación (actualización) del Banco de Problemas con enfoque al ciudadano.
9. Taller técnico para mostrar los prototipos, productos de alto valor agregado y /o pruebas de concepto de ciudad inteligente; así como, las plataformas reutilizables
10. Potenciar las redes colaborativas del Laboratorio
  - a) Lanzamiento de concurso abierto de ciudad inteligente y sostenible para buscar las mejores soluciones innovadoras a nivel de producto mínimo viable.
  - b) Inducir proyectos de investigación y desarrollo en las Universidades para impactar el Banco de Problemas definido
11. Selección de mentores y planificación de “aceleración” de los productos mínimos viables, incluyendo los mecanismos económicos de sustentabilidad.

#### Etapa III – Generalización de las soluciones innovadoras hacia la ciudad

12. Taller de socialización de los resultados entre el Ecosistema de Innovación Local y con otros actores nacionales.
13. Búsqueda de nuevos “socios” que apoyen (financiera y tecnológicamente) las soluciones para su despliegue en la ciudad.

#### Etapa IV – Sostenibilidad

14. Desarrollar modelos de negocio de auto-sostenibilidad del Laboratorio y su gestión de soluciones innovadoras.
15. Repetir ciclos, cortos y de mediano plazo, de innovación digital abierta local (desde 9 a 13) y ciclos más largos que permita re-alistar y sostener incrementalmente el Laboratorio de acuerdo a los cambios del contexto (del 1 al 14).

## 4. Resultados

### Etapas iniciales de implementación del marco metodológico

Ante todo se requiere evaluar el cumplimiento de las premisas. La tabla No. 1 resume los niveles de satisfacción de las premisas en los dos territorios para la aplicación de la metodología propuesta.

**Tabla 1. Premisas de Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes evaluadas en los territorios de estudio**

<b>Premisa</b>	<b>Satisfacción</b>
Políticas	<p>La Política integral para el perfeccionamiento de la Informatización de la sociedad en Cuba (MINCOM, 2017).</p> <p>Voluntad política de la alta dirección del país, y de los gobiernos locales por impulsar la informatización en los territorios.</p>
Espacio físico (inmueble)	<p>En el municipio Pinar del Río se cuenta con un inmueble dedicado al Laboratorio Urbano. El Gobierno provincial apoyó su reconstrucción para su empleo en estos fines.</p> <p>En el municipio La Habana Vieja se han destinados dos locales, estando ambos en reconstrucción capital. Se estima que al menos uno de los dos esté terminado en el I Semestre de 2019 y el segundo antes de noviembre de ese mismo año.</p>
Coordinación	<p>La coordinación del Laboratorio recae en la Unión de Informáticos de Cuba de la provincia donde se encuentra enclavado el municipio, con un apoyo determinante del gobierno provincial y municipal. La UIC fue constituida como organización social sin fines de lucro el 7 de marzo de 2016. Es una organización articuladora de todos los actores del ecosistema a nivel local para la transformación digital. Entre sus objetivos estratégicos hasta el 2021, la UIC se incluye: <i>“Incentivar los ecosistemas de innovación tecnológica que tributen a la transformación digital de la Sociedad, con énfasis en el desarrollo local”</i>.</p> <p>El Programa Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación, en su rama Informatización, aprobó en 2016 el proyecto de Laboratorio Urbano para ciudad inteligente en la Habana Vieja, lo cual habilita a las universidades y otros actores a trabajar de conjunto en esta experiencia.</p>
Infraestructura de info-comunicaciones y conectividad Web	<p>Usuarios conectados a Internet a nivel nacional por redes - 5 millones de ciudadanos (de 11 millones de habitantes) según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI).</p> <p>Habilitada la navegación en internet soportada en la cobertura de tercera generación (3G) a nivel de todo el país (Cubadebate, 2018).</p> <p>Estimado en 2019 introducir la tecnología de cuarta generación (4G).</p>
Kit de tecnología	<p>A través de los dos proyectos en marcha, se adquieren varias Raspberry Pi y tarjetas arduino con kit de 50 sensores, una decena de PC y otros accesorios para iniciar los laboratorios</p>
Capacidad actores locales	<p>El proyecto marco PADIT (2014-2021), presente en ambos municipios de estudio, es la plataforma idónea para apoyar la articulación de los actores a favor de la innovación local. Mantiene un constante programa de capacitación de actores locales, incluyendo un Diplomado de descentralización para el desarrollo local. La UIC como parte de esta plataforma tiene su programa de capacitación orientado a Gobierno digital e Innovación abierta.</p> <p>Ambos municipios tienen grupos de desarrollo local establecidos que habilitan la gestión de proyectos locales y las capacidades de los equipos de proyectos y la población vinculada.</p>
Compromiso gobierno local	<p>El gobierno provincial de Pinar del Río con su Grupo de Desarrollo Local (GEDEL) es el principal impulsador, convirtiéndose en protagonista del Laboratorio y acompañando a la UIC para que la innovación responda al banco de problemas del territorio con enfoque al ciudadano.</p> <p>El gobierno de la Habana Vieja está cada vez más consciente de la necesidad de incentivar la innovación abierta a través del laboratorio. La Oficina del Historiador de la Ciudad es un participante activo del Laboratorio Urbano de Ciudad Inteligente en la Habana Vieja.</p> <p>Ambos gobiernos municipales y la OHC han proveído los locales de cada territorio; así como las construcciones de reparación que se han requerido.</p>

Capital semilla	<p>Cuba tiene un importante capital humano en las carreras de informática y afines de relativo alto nivel para la región.</p> <p>En los territorios estudiados, la academia está representada en ambos laboratorios a través de la Universidad de Pinar del Río, la Universidad Tecnológica de la Habana y la Universidad de la Habana. Completan la lista otras universidades de otras provincias, interesadas en la experiencia, como la Universidad Central de las Villas y la Escuela Superior de Cuadros del Estado y del Gobierno, y debe incorporarse la Universidad de Ciencias Informáticas.</p> <p>Los informáticos del sector empresarial en Pinar del Río, encabezado por la Empresa DESOFT, están muy implicados con las soluciones integrales de gobierno electrónico en el país. Las principales empresas del sector están enclavadas en La Habana, por lo que el componente empresarial del ecosistema en el municipio Habana Vieja está garantizado.</p> <p>Del joven sector no estatal de informática también se incorporan talentosos especialistas a los laboratorios.</p>
-----------------	--

### Caso de estudio: Laboratorio Urbano de ciudad inteligente en la Habana Vieja

Se encuentra básicamente en la etapa I, particularmente en el paso 5 (acondicionamiento de locales). No obstante, se ha ido avanzando en la etapa II con la Universidad Tecnológica de la Habana a partir de un Banco de problemas genéricos levantado para los tres escenarios definidos en el proyecto:

- Sistema de Información al Viajero
- Servicios y Analíticas Big Data de fácil consumo por los ecosistemas de actores de la ciudad.
- Plataformas abiertas de datos provenientes de sensores físicos (IoT) y humanos

En este último escenario, por ejemplo, se abrió una línea de investigación de Computación en la Nube (Fog Computing) en la Universidad Tecnológica de la Habana, para contrarrestar la latencia y los problemas de tráfico asociados a la gestión de datos masivos en la Nube desde los sensores distribuidos en una comunidad. Hasta la fecha, en este grupo se defendió una tesis de fin de carrera de Telemática y se comienzan las simulaciones para un despliegue en la niebla en un contexto experimental de comunidad inteligente. El artículo de (León et al, 2018) muestra una hoja de ruta para la aplicación de la computación en la niebla en ciudades inteligentes.

### Caso de estudio: Laboratorio Urbano de ciudad inteligente en la ciudad de Pinar del Río

Atraviesa la etapa II, en el paso 10. Se lanzó un concurso de ciudades inteligentes y sostenibles para escoger las mejores propuestas de soluciones (pruebas de concepto). En la tabla No. 2 se resumen dos de los prototipos y escenarios de aplicación seleccionados.

**Tabla 2. Dos prototipos de soluciones IoT desde la Universidad de Pinar del Río**

Ámbito	Descripción prototipo
Calidad del agua	<u>Herramienta de monitoreo de la calidad del agua y alerta temprana ante inundaciones.</u> Se diseña un sistema de monitoreo de la calidad del agua en redes de distribución a la población. Incorpora un sistema de alerta ante la posible inundación de los embalses en zonas bajas o de interés general. Dispone de una interfaz de comunicaciones móviles, soportado sobre la red GSM, GPRS y 3G, para el envío de señales de monitoreo y alarma. (Rodríguez et al, 2018)
Envejecimiento poblacional	<u>Botón de ayuda para ancianos de la tercera edad sobre la plataforma Arduino.</u> Sistema capaz de proveerles a los ancianos de la tercera edad una vía rápida de pedir ayuda a la persona encargada de su cuidado haciendo uso de la red celular existente en el país. Posee un botón de ayuda para los ancianos de la tercera edad, mediante el cual la persona encargada de su cuidado recibirá un SMS previamente definido en su móvil una vez que el anciano presione el botón. (Salgueiro et al, 2018)

## CONCLUSIONES

Los Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes representan un marco apropiado para incentivar los ecosistemas locales de innovación a favor de aprovechar las TIC y la capacidad innovadora de los ciudadanos, en función de ofrecer soluciones de gran impacto social y para mejorar la eficacia de la gestión de los gobiernos a nivel territorial.

La Unión de Informáticos de Cuba, como parte de la Plataforma Articulada de Desarrollo Integral Territorial, y de conjunto con los actores locales en dos municipios cubanos se encuentra experimentando un marco metodológico propio para construir Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes. Una vez cumplidas las premisas del marco en ambos territorios, se muestran los primeros resultados de este desafío.

Para finales de febrero se prevé la implementación de la etapa III del marco metodológico en el proyecto de Laboratorio Urbano de Ciudad Inteligente de Pinar del Río. Con las lecciones aprendidas, se proyectará una Red de Laboratorios Urbanos de Ciudades Inteligentes en otras ciudades de la geografía cubana, con un escalamiento paulatino en función de las condiciones de alistamiento y los recursos que se puedan gestionar. La expectativa es arribar al 2021 con al menos un Laboratorio Urbano de Ciudades Inteligentes en los 15 municipios cabeceras provinciales y en el municipio especial Isla de la Juventud.

## REFERENCIAS

ANPP. Bases del Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta el 2030: Visión de la Nación, Ejes y Sectores Estratégicos. La Habana: Documentos del 7mo Congreso del PCC aprobados por la Asamblea Nacional del Poder Popular , 2017.

CEPAL. Plan de Acción Regional para la implementación de la Nueva Agenda Urbana en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile: Naciones Unidas, 2017.

Chesbrough, Henry. Open Innovation: A New Paradigm for Understanding Industrial Innovation. En Open Innovation: Researching a New Paradigm, de Wim Vanhaverbeke, Joel West Henry Chesbrough. Oxford University Press, 2006.

Cubadebate. (4 de Diciembre de 2018). Todo lo que debe saber sobre el internet por datos móviles en Cuba. Obtenido de Cubadebate: <http://mesaredonda.cubadebate.cu/mesaredonda/2018/12/04/todo-lo-que-debe-saber-sobre-el-internet-por-datos-moviles-en-cuba-video/>

Delgado, T.; Estévez, S.; Estévez, A.; Díaz, M.E.; Hernández, C.; Sánchez, A.; Pancorbo, F. Innovación en tecnologías de la Información, la Automatización y la Comunicación, Parte V - Catalizadores de Cibersociedad. En *Cibersociedad - Soñando y actuando*, Delgado, T. y Febles, A. (Eds), 223-247. La Habana: Ediciones Futuro. ISBN: 978-959-286-067-4, 2018.

EC. European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities - Strategic Implementation Plan. 22 pages, disponible en <http://www.eu-smartcities.eu/>, accedido el 24-12-2018.

Edison, H, N.B Ali, y R. Torkar. «Towards innovation measurement in the software industry.» 86(5),1, 2013: 390-407.

Feld, Brad. StartUp Communities, building an entrepreneurial ecosystem in your city. New Jersey: John Wiley&Son, 2012.

ITU. Key performance indicators project for Smart Sustainable Cities. 2016.

Jun, MyungSan. Blockchain government - a next form of infrastructure for the twenty-first century. *Journal of Open Innovation: Technology, Market and Complexity*, 2018 : 1-12.

Krebs, Roland. Urban Labs: Una herramienta para la planificación integrada y participativa de ciudades. *Ciudades Sostenibles*. 1 de 12 de 2017. <https://blogs.iadb.org>

León ST, Fernández TD, Colomé AL. Towards smarter cities taking advantage of the Fog Computing paradigm. *Discussion papers. Sistemas & Telemática*. 2018 Mar 6;16(45).

MINCOM. (7 de 2017). Política Integral para el perfeccionamiento de la Informatización de la sociedad en Cuba. Obtenido de MINCOM: [http://www.mincom.gob.cu/sites/default/files/Politica%20Integral%20para%20el%20perfeccionamiento%20de%20la%20Informatizacion%20de%20la%20sociedad%20en%20Cuba\\_0\\_0.pdf](http://www.mincom.gob.cu/sites/default/files/Politica%20Integral%20para%20el%20perfeccionamiento%20de%20la%20Informatizacion%20de%20la%20sociedad%20en%20Cuba_0_0.pdf) accedido en diciembre 2018.

Naciones Unidas. Resolución 71/256 Resolución aprobada por la Asamblea General el 23 de diciembre de 2016, Nueva Agenda Urbana (A/RES/71/256\*). Quito: Naciones Unidas, 2016.

Naciones Unidas. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. (A/RES/70/1), 2015.

Ontiveros, Emilio, Diego Vizcaíno, y Verónica López Sabater. *Las ciudades del futuro: inteligentes, digitales y sostenibles*. Barcelona: Fundación Telefónica, 2016.

Rodríguez AR, Álvarez JR, González JG, Benitez VR. Monitoring tool for water quality and quick alert of flooding. *Sistemas & Telemática*. 2018 Feb 15;16(44):25-34.

Salgueiro LJ, Gonzalez AA, Rodríguez PA. Help button for elderly people on the Arduino platform, *Sistemas & Telemática*. 2018 April 15;16(45).

UIT-T. Y.2060 Descripción general de Internet de los objetos. SERIE Y: INFRAESTRUCTURA MUNDIAL DE LA INFORMACIÓN, ASPECTOS DEL PROTOCOLO INTERNET Y REDES DE LA PRÓXIMA GENERACIÓN. 06 de 2012.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Tatiana Delgado Fernández

Teléfono: +53 5 2112099

E-mail: [tatiana.delgado@uic.cu](mailto:tatiana.delgado@uic.cu)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Montserrat Zamorano Toro  
Jaime Martín Pascual  
*Universidad de Granada*  
José María Fernández González  
Fernando Calvo Redruejo  
*Proma, Proyectos de Ingeniería Ambiental S.L.*  
Nicolò Ceccomarini  
*Università di Bologna*

***SIMULACIÓN DE MONTECARLO  
PARA DETERMINAR EL COSTE-  
BENEFICIO DE ALTERNATIVAS  
PARA EL RECICLAJE DE LA  
FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS  
RESIDUOS MUNICIPALES***

## **Resumen**

En la búsqueda de fuentes de energía renovable que permitan la reducción de las emisiones, es necesario adoptar importantes cambios dirigidos a la descarbonización de las redes de gas natural. Para ello, se opta por la búsqueda de alternativas que permitan su progresiva transición hacia un modelo de transporte de los denominados gases verdes, entre los que se encuentra el biometano, además de llevar a cabo una gestión de la fracción orgánica de los residuos en el marco de la economía circular. El objetivo principal de este trabajo ha sido realizar un estudio sobre la viabilidad para la producción de biometano a partir de la fracción orgánica de los residuos municipales para su inyección en redes de gas natural (Escenario 3), en comparación con otras opciones de tratamiento cuyo uso está más extendido como el compostaje (Escenario 1) y la producción de energía a partir del biogás procedente de la digestión anaeróbica (Escenario 2). Se ha podido concluir que, aunque los menores costes de inversión se dan en el Escenario 1 y los de operación y mantenimiento en el Escenario 2, el Escenario 3 presenta unos costes iniciales y de operación y mantenimiento intermedios pero mayores ingresos potenciales por la venta de biometano. Como resultado, el canon medio es más bajo en el Escenario 3 (6,38 €/ton tratada), lo que indica que el proceso financieramente más viable es la inyección en red de biometano, además de suponer una mayor aceptación social. Finalmente, la cuantificación del beneficio social y ambiental por la monetización de las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas mediante el cálculo del VANsocial muestra un mayor valor en el Escenario 3 (3,01 €/ton) lo que indica que la producción de biometano para inyección en red mejora la viabilidad ambiental y social con respecto a los otros dos escenarios.

## **Abstract**

For the transition towards a more sustainable energy and to manage waste in the framework of circular economy proposes the injection of biomethane into the natural gas network. Biomethane is obtained from the enrichment of biogas obtained in the anaerobic digestion of the organic fraction of waste.

The main objective of this study is to analyze the economic, social and environmental viability of the injection of biomethane into the natural gas network (stage 3) compared to composting (stage 1) and the production of energy from biogas (scenario 2).

The lowest investment costs are given in Scenario 1 and the operation and maintenance costs in Scenario 2; however, Scenario 3 presents initial costs and intermediate operation and maintenance costs. The lowest average fee is in Scenario 3 (6.38 €/ tonne treated), which indicates that the most financially viable process is the injection of biomethane into the

natural gas network. In addition, the quantification of social and environmental benefit by the monetization of avoided CO<sub>2</sub> emissions by calculating the VAN<sub>social</sub> shows a greater value in Scenario 3 (3.01 € / tonne) which shows the greatest environmental and social viability.

**Palabras clave:** *Simulación de Monte Carlo; compostaje; biogás; biometano; redes gas natural*

**Keywords:** *Monte Carlo simulation; composting; biogas; biomethane; natural gas pipelines*

**Área temática:** *Energías renovables.*

## 1. Introducción

En España, el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2050 supondrá que estas se limiten entre 14 y 88 MtCO<sub>2</sub> frente a los 322 emitidos en el año 2013 (Amores et al., 2016). Para lograr estos objetivos es necesario adoptar una serie de medidas dirigidas al desarrollo de un modelo de economía más sólida y circular, en la que se utilicen los recursos de un modo más sostenible lo que implicará la implantación de una serie de cambios que afectarán a sectores como el de la gestión de los residuos y el energético.

Desde el punto de vista de la gestión de residuos, en el año 2016 España generó 21,5 millones de toneladas de residuos municipales, cuyo 57,3% fue eliminado en vertedero (MITECO, 2018) con los consiguientes problemas ambientales. Su correcta gestión es por tanto un requisito imprescindible y prioritario, y debe estar dirigida a implantar medidas estratégicas y de planificación destinadas a reducir el volumen de residuos eliminados. En este sentido, la fracción orgánica, que compone el 37% de los residuos municipales (FORM), y a la que pueden unirse otras como la presente en los residuos agrícolas, ganaderos e industriales, lo que la hace fácilmente biodegradable; esto permite la aplicación de sistemas de tratamiento basados en su degradación, aerobia o anaerobia, mediante microorganismos, que evitan su eliminación en vertedero, además de reciclar la materia orgánica de acuerdo a los principios de la economía circular. Mediante la digestión aerobia se produce liberación de calor y CO<sub>2</sub> (Tuomela et al., 2000) así como la producción de compost, un producto rico en nutrientes que puede utilizarse como enmienda orgánica en suelos, evitando así el consumo de fertilizantes (Farrell y Jones, 2009). En el caso de la digestión anaeróbica la materia orgánica se convierte en un biogás rico en metano y CO<sub>2</sub> que puede usarse como fuente de energía renovable (Li et al., 2011; Yang et al., 2014), así como el digestato, una fracción sólida rica en nutrientes que, tras un proceso de estabilización aerobia, también puede ser utilizada como enmienda orgánica (Sheets et al., 2015).

En el caso del sector energético es necesario abordar una paulatina transición del modelo energético dirigido hacia una descarbonización eficiente, pero que a su vez mantenga la seguridad y la competitividad del suministro energético. Esto será posible si se implantan medidas dirigidas a realizar una serie de cambios en las formas de producción y consumo de energía que replacen los vectores energéticos por otros con menores emisiones, desarrollen un parque de generación eléctrica basado en energía renovables e implanten medidas de eficiencia energética (Amores et al., 2016). A pesar de que el gas natural genera menores emisiones que los combustibles sólidos por su menor contenido en carbono y su capacidad para ser utilizado en plantas generadoras de ciclo combinado que pueden

alcanzar eficiencias térmicas considerablemente más altas (Miller, 2013), su sustitución progresiva por gases renovables se presenta como una alternativa hacia la descarbonización del sistema energético futuro (Dodds y McDowall, 2013; Howard y Bengherbi, 2016; KPMG, 2016; Sadler et al., 2016); esta solución, además, facilita un uso más eficiente y circular de los recursos energéticos y las materias primas, todo ello aprovechando los activos existentes para el almacenamiento y transporte de gas natural.

Entre las diferentes opciones que suponen una alternativa al gas natural se encuentra el biometano, también denominado gas verde, procedente del tratamiento del biogás, generado en la degradación anaeróbica de la FORM. Por su elevado contenido en metano, superior al 95% (Cucchiella et al., 2018), es un portador de energía renovable con propiedades potencialmente equivalentes al gas natural por lo que contribuye a la reducción de emisiones de GEI (Budzianowski y Postawa, 2017); a esto se suma que, al igual que el gas natural, es un combustible flexible y fácilmente almacenable aplicable a los mismos usos sin necesidad de realizar modificaciones en las instalaciones y equipos (Browne et al. 2012; Larsson et al., 2016; Urban, 2010).

La Directiva 2003/55/CE, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y, posteriormente, la Directiva 2009/73/CE, en la que se definieron los objetivos para el suministro de energía renovable en el transporte que deben cumplir todos los Estados miembros, fomentan el uso del biometano en las redes de gas natural. De hecho países como Austria, Suiza, Suecia, Alemania o Países Bajos han desarrollado ya un mercado para la inyección de esta gas en red (BNetzA, 2011; Bowe, 2013). El aumento de la conciencia sobre la necesidad de impulsar el uso de energía renovables se incrementa día a día, por lo que es evidente que su distribución a través de las existentes redes de gas se va a impulsar en los próximos años. No obstante, a día de hoy todavía, su uso no es competitivo frente al gas natural (BNetzA, 2011), por lo que es necesario impulsar estudios que permitan valorar los riesgos derivados de este tipo de inversiones.

## **2. Objetivos**

El objetivo de este trabajo ha sido desarrollar un análisis económico que oriente en la toma de decisiones en materia de reciclaje de la FORM en base a la viabilidad de proyectos de inversión, para canalizar los recursos hacia aquellos que proporcionen un mayor beneficio neto y un menor riesgo.

## **3. Materiales y métodos**

### **3.1 Definición de escenarios**

Dado que las soluciones que pueden aplicarse para el tratamiento de la FORM son diversas, y como la finalidad de este trabajo es estudiar la viabilidad de la inyección en red del biometano generado a partir de la FORM, se ha optado por plantear una serie de escenarios que permitan comparar esta solución con otras opciones de tratamiento de esta fracción que estén consolidadas en la actualidad, que faciliten su reciclaje, permitan alcanzar el cumplimiento de los objetivos establecidos en el marco legal europeo y estén fundamentados en la recogida selectiva en origen de la FORM. Como resultado se han generado tres posibles escenarios (Figura 1):

- *Escenario 1.* Estabilización aerobia para producción de compost. Mediante el compostaje, a través de la digestión aeróbica, se busca una gestión de la FORM que permitirá obtención de compost. Este escenario se corresponde con el mínimo tratamiento exigible a la FORM de acuerdo con el marco legal actual, para reducir así la

eliminación de dicha fracción en vertederos y los problemas ambientales derivados de la misma.

- *Escenario 2.* Biometanización para producción de electricidad. Permite la transformación de la FORM en biogás, con el fin de ser utilizado como una fuente de energía secundaria por su capacidad calorífica, lo que le confiere características combustibles ideales para su conversión en energía renovable y calor mediante cogeneración; el aprovechamiento energético se puede hacer en la propia instalación o bien mediante inyección de la electricidad generada en la red eléctrica. El proceso genera también el digestato bruto que, desde el punto de vista de este estudio, se considera un subproducto que precisa de un acondicionamiento previo para su aplicación en la agricultura.
- *Escenario 3.* Biometanización para producción de biometano y su inyección en redes de gas natural. El biogás producido se puede tratar con la finalidad de eliminar componentes no deseables, además de conseguir un enriquecimiento en metano, generando así el biometano o gas verde, de características similares al gas natural. Puede ser inyectado a la red de gas para que lo consuma cualquier usuario, tanto industrial como residencial, además de poder ser comprimido para ser dispensado como combustible para vehículos (Ruiz et al., 2018). Como en el escenario anterior, también en este caso se genera el digestato bruto.



Figura 1: Escenarios para el reciclaje de la FORM analizados en este estudio

### **3.2 Análisis Coste Beneficio**

El Análisis Coste Beneficio (ACB) se define como una herramienta analítica orientada a facilitar la toma de decisiones en base a la viabilidad económica de proyectos, programas, políticas o iniciativas mediante la identificación de sus costes y beneficios, así como la medida de estos mediante el valor monetario del cambio de bienestar atribuible a ellos (Boardman et al., 2010; Florio, 2014). Persigue una asignación más eficiente de recursos que demuestre la conveniencia para la sociedad de una decisión particular frente a posibles alternativas. El ACB se ha aplicado en numerosos estudios relacionados con la gestión de residuos como compostaje y digestión anaerobia de residuos orgánicos (Zulkepli et al., 2017), la cogasificación de biomasa de origen leñoso y estiércol o el tratamiento integral de los residuos y la energía (Dobraja et al., 2016). Además, hay que tener en cuenta que las estimaciones de plazo y coste que se hacen durante la planificación de un proyecto están sujetas a una incertidumbre, como consecuencia de la variabilidad intrínseca de las estimaciones, ya que una determinada tarea no cuesta o dura siempre lo mismo, así como a los riesgos asumidos, los cuales tienen una determinada probabilidad de ocurrir y un impacto. Por ello es necesario también determinar el nivel de riesgo de un proyecto.

En consecuencia el ACB desarrollado en este estudio se basa en un marco metodológico que incluye las siguientes etapas, para cada escenario: (apartado 3.2.1) identificación de costes y beneficios; (apartado 3.2.2) valoración de costes y beneficios; y (apartado 3.2.3) estudio de viabilidad de la inversión.

#### **3.2.1 Identificación de costes y beneficios**

En la definición de los costes y beneficios de los tres escenarios propuestos se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Determinación de costes.* Los principales costes estudiados se agrupan en dos macro-categorías que difieren por su naturaleza inherente:
  - Costes iniciales. Son imputables a los costes de inversión necesarios para lanzar un nuevo negocio y representan un costo en el que se incurre sólo una vez. Incluyen costes asociados con la construcción de las instalaciones, la obra civil necesaria para su desarrollo y la implementación de las instalaciones necesarias en cada escenario y, que incluyen maquinaria y equipos de plantas, además de la planificación, el diseño y la ingeniería y los costes relacionados con los estudios de factibilidad.
  - Costes de operación y mantenimiento. Incluyen las diferentes actividades relacionadas con la operación y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento, incluido el mantenimiento de la planta, gestión de subproductos, personal y costos laborales, seguridad, administración, etc. A diferencia del caso anterior, estos costes tienen lugar a lo largo de la vida útil de la instalación.
- *Determinación de beneficios.* Incluyen los derivados de la venta de los subproductos generados, en función del escenario, como compost, energía eléctrica o biometano, y representan un ingreso para la empresa. En cada escenario el precio será diferente ya que se ve afectado por la calidad y cantidad de subproducto generado, así como de la tecnología aplicada para que el producto pueda ser entregado al cliente final. Además, deberán considerarse otros beneficios, como los sociales y ambientales; aunque éstos no representaban un ingreso monetizado concreto para una empresa, pueden proporcionar interesantes oportunidades para mejorar la sostenibilidad ambiental que tienen implicaciones significativas en la vida humana.

### 3.2.2 Valoración de costes y beneficios

A partir del estudio de casos similares a los de los escenarios definidos, se ha procedido a recopilar la valoración de los costes y beneficios identificados, con la finalidad de obtener, para cada uno, su valor mínimo y máximo, necesario para realizar el análisis de viabilidad de la inversión.

### 3.2.3 Análisis de la viabilidad de la inversión

La inversión se ha analizado teniendo en cuenta su viabilidad financiera y social mediante la determinación, para cada escenario, del Valor Actual Neto financiero (VANf) y el Valor Actual Neto social (VANs). Las fórmulas de Valor Actual Neto se desarrollarán para estudiar el desempeño económico y la rentabilidad de una inversión; incluyendo un análisis de riesgo mediante la simulación del análisis de MonteCarlo (AMC), un método cuantitativo que permite calcular el nivel de riesgo del proyecto mediante el uso de probabilidad, de consecuencias y la simulación computacional con una buena aproximación de la distribución teórica en todos los casos, incluso cuando no existe una solución analítica o la solución es muy compleja (Abadie y Chamorro, 2013). Para calcular la rentabilidad del proyecto en los diferentes escenarios, se aplicó la metodología de AMC con 5000 iteraciones con Microsoft Excel para calcular la probabilidad y los rangos de cada escenario.

Para su aplicación se ha procedido a determinar, en cada escenario:

- *Canon para VANf neutro.* El VANf es un criterio ampliamente conocido para evaluar operaciones, inversiones y decisiones comerciales financieras. Se calcula como la suma de los flujos de efectivo anuales netos ( $F_i$ ) durante la vida útil del proyecto, donde cada flujo de efectivo ( $n = 0, \dots, N$ ) se descuenta desde su tiempo  $i$  hasta el momento actual ( $n = 0$ ) en tasa de descuento  $r$  (Zore et al. 2018). La determinación del VANf neutro tiene como propósito el establecimiento de un canon para cada una de las soluciones analizadas y que debe incluir la cantidad de dinero que se necesita para desarrollar la actividad. Con la finalidad de garantizar que la empresa que gestiona el servicio no asuma una inversión con pérdidas durante un determinado período de tiempo, por ejemplo, 10 años, es necesario establecer un canon específico que permita a la inversión alcanzar el llamado punto de equilibrio. A partir del cálculo del VANf, es posible cuantificar económicamente el canon que permite lograr un rendimiento de equilibrio en la propuesta de viabilidad para los diferentes escenarios. Para su determinación se utilizará la Expresión 1, en la que  $I$ , representa los costos iniciales de inversión;  $F_i$ , es el flujo de efectivo neto esperado en el período  $i$ ;  $r$ , es el costo de capital del proyecto y;  $n$  es el período de tiempo considerado.

$$VANf = -I + \sum_{n=1}^{10} \frac{F_i}{(1+r)^n} \quad (1)$$

Asumiendo el canon como un ingreso anual fijo, éste se puede calcular de acuerdo con la Expresión 2 en la que RE representa los ingresos anuales de la venta del producto correspondiente a cada escenario analizado; O&m representa los costes de operación y mantenimiento y; C es el canon. Todo ello se ha calculado para una vida útil de 10 años y una tasa de rentabilidad monetaria del 12% ( $r = 0,12$ ).

$$\begin{aligned} VANf &= -I + \sum_{n=1}^{10} \frac{F_i}{(1+r)^n} = -I + \sum_{n=1}^{10} \frac{RE - O\&m + C}{(1+r)^n} \\ &= -I + (RE - O\&m + C) \sum_{n=1}^{10} \frac{1}{(1+r)^n} \end{aligned} \quad (2)$$

Para buscar qué valor del canon obtiene un rendimiento de equilibrio en el proyecto de viabilidad, se requiere que el VANf sea igual a 0. En este caso se ha fijado en el 12%. A partir de VANf = 0, la Expresión 3 permitirá el cálculo del canon.

$$C = \frac{I - RE \times \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N} + O\&M \times \frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N}}{\frac{(1+r)^N - 1}{r \times (1+r)^N}} \quad (3)$$

A partir de este supuesto, será posible calcular, para cada escenario dado, a través de la simulación del AMC el canon anual requerido para proporcionar una rentabilidad financiera de cada escenario estudiado en este trabajo para el tratamiento de la FORM.

- VANs. Tiene como finalidad contabilizar todos los beneficios difícilmente monetizables, que incluyen los beneficios ambientales y sociales resultantes. El VANs se determina mediante la Expresión 4, en la que BSi representa el flujo de efectivo neto esperado, que incluye el beneficio de las emisiones económicas de CO<sub>2</sub> considerando el canon anual requerido, en el período i; e I, r y n siguen tomando el mismo valor que el considerado en la determinación del VANf. Se considera una alternativa es socialmente deseable si el VANs calculado es positivo.

$$VANs = -I + \sum_{n=1}^{10} \frac{BS_i}{(1+r)^n} \quad (4)$$

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 Identificación de costes y beneficios por escenario

Con la finalidad de identificar los costes y beneficios de cada escenario se llevó a cabo una exhaustiva revisión de publicaciones científicas. Como resultado, la Tabla 1 y Tabla 2 recogen, respectivamente, los costes y beneficios identificados para cada escenario, incluyendo las fuentes bibliográficas que han permitido su identificación.

#### 4.1.1 Costes

En la Tabla 1 se observa el resultado de recopilar el conjunto de costes de diferentes tipos de instalaciones correspondientes con los tratamientos de los tres escenarios considerados. Se puede observar una variedad de costes desglosados que incluyen aquellos que están relacionados con el diseño, la construcción y la puesta en marcha de las instalaciones como diseño e ingeniería, suministros iniciales, construcción de reactor, etc., y los referidos a la fase de explotación de las mismas como personal, mantenimiento de equipos o seguros, enriquecimiento de biometano, etc.

Entre los costes seleccionados hay que destacar que en el caso de los escenarios 2 y 3 se incluye la gestión del digestato, considerado como un residuo y por tanto debe ser adecuadamente gestionado, lo que implica un coste (Rodhe et al., 2006). Para ello puede optarse por su eliminación o bien su reciclado o recuperación de sustancias orgánicas para aplicación en la agricultura (Bernal et al., 2011; Makádi et al., 2011).

**Tabla 1: Costes identificados para cada escenario**

Concepto	Escenario	Referencia
<b>Costes iniciales totales</b>	1	Aye y Widjaya., 2006
Equipos para el sistema de compostaje	1	Aye y Widjaya., 2006
Obra civil	1	Aye y Widjaya., 2006
Planeamiento, diseño e ingeniería	1	Aye y Widjaya., 2006
<b>Costes iniciales totales</b>	1, 2, 3	Lin et al., 2018
<b>Costes de operación y mantenimiento totales</b>	1	Aye y Widjaya., 2006; Pergola et al., 2018; Beckhanov y Mirzabaev, 2018
<b>Costes iniciales totales</b>	2	Rasheed et al., 2016
Diseño e ingeniería	2	Rasheed et al., 2016
Suministros y servicios iniciales	2	Rasheed et al., 2016
Reactor planta biogás	2	Rasheed et al., 2016
Costes de generador, construcción, fabricación y obra civil	2	Rasheed et al., 2016
Transporte, montaje, pruebas y puesta en marcha	2	Rasheed et al., 2016
Gastos de gestión, seguros...	2	Rasheed et al., 2016
Impuestos y tasas	2	Rasheed et al., 2016
<b>Costes iniciales totales</b>	2	De Rosa, 2018
<b>Costes iniciales totales</b>	2	Ruiz et al., 2018
Componentes de la instalación	2	Ruiz et al., 2018
Adquisición de terrenos	2	Ruiz et al., 2018
<b>Costes de operación y mantenimiento totales</b>	2	Rasheed et al., 2016
<b>Costes de operación y mantenimiento totales</b>	2	Ruiz et al., 2018
Costes generales	2	Ruiz et al., 2018
Electricidad comprada	2	Ruiz et al., 2018
Agua	2	Ruiz et al., 2018
Personal	2	Ruiz et al., 2018
Mantenimiento de equipos	2	Ruiz et al., 2018
Transporte de digestato	2	Ruiz et al., 2018
<b>Costes iniciales totales</b>	3	Cucchiella et al., 2018

Concepto	Escenario	Referencia
<b>Costes iniciales totales</b>	3	Gutierrez et al., 2018
Digestor	3	Gutierrez et al., 2018
Sistema de enriquecimiento de biometano	3	Gutierrez et al., 2018
Estación CNG	3	Gutierrez et al., 2018
<b>Costes iniciales totales</b>	3	Vo et al., 2018
<b>Costes iniciales totales</b>	3	De Rosa, 2018
<b>Costes de operación y mantenimiento totales</b>	3	Cucchiella et al., 2018
Personal	3	Cucchiella et al., 2018
Costes operativos	3	Cucchiella et al., 2018
<b>Costes de operación y mantenimiento totales</b>	3	Gutierrez et al., 2018
Digestor	3	Gutierrez et al., 2018
Sistema de enriquecimiento de biometano	3	Gutierrez et al., 2018
Estación CNG	3	Gutierrez et al., 2018
<b>Costes de operación y mantenimiento totales</b>	3	Vo et al., 2018; De Clercq et al., 2017

#### 4.1.2 Beneficios

Los beneficios resultantes de las ventas del producto final representan un ingreso concreto para la empresa. De cada escenario se deriva un producto diferente, con un precio diverso, dependiendo principalmente de la calidad de los componentes y el proceso tecnológico empleado para lograr que el producto final llegue a su mercado objetivo diferente.

Tal y como se observa en la Tabla 2 el producto final resultante del compostaje (escenario 1) es el compost, en cambio los productos resultantes de la digestión anaeróbica en los escenarios 2 y 3 serán la electricidad y el biometano respectivamente. Pero además de los beneficios que suponen un ingreso monetizado, se han incluido también, en el caso de los Escenarios 2 y 3, las emisiones evitadas que equivalen a las emisiones de CO<sub>2</sub> que se habrían generado al producir una cantidad de energía equivalente por las oportunidades que proporcionan para mejorar la sostenibilidad ambiental.

En este estudio no se ha incluido el beneficio derivado de no depositar la materia orgánica en vertederos, desde el punto de vista de emisiones, ya que el marco legal actual reduce sustancialmente el porcentaje de esta fracción que puede ser llevada a vertedero; además el CO<sub>2</sub> emitido por la combustión del biogás capturado proviene de la biomasa y, por lo tanto, no se tiene en cuenta en el balance final. A esto se une el hecho que como en los vertederos se tienen en cuenta los potenciales metanogénicos de las fracciones de residuos depositados, al mismo tiempo, hacen de sumideros de carbono (Enterprises pour l'Enrionnement, 2010). Finalmente, también hay que señalar que en el caso del compostaje y la biometenización hay emisiones de CH<sub>4</sub> derivadas de un volteo que no es efectivo en su

totalidad para garantizar unas condiciones totalmente aerobias, o bien hay fugas en los digestores, respectivamente (Enterprises pour l'Enrionnement, 2010); no obstante los programas de investigación para evaluar dichas emisiones (Dirección General CCI de la Comisión Europea, 2006) han puesto de manifiesto que éstas son insignificantes, lo que justifica el no haber sido incluidas en este estudio.

**Tabla 2: Beneficios identificados para cada escenario**

Concepto	Escenario	Referencia
Venta de compost	1	Aye y Widjaya, 2006; Masebinu et al., 2018
Venta de electricidad	2	Rasheed et al., 2016; Ruiz et al., 2018
Venta de biometano	3	Gutierrez et al., 2018; Vo et al., 2018; De Clercq et al., 2017; Masebinu et al., 2018
Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas		Aye y Widjaya, 2006; Lin et al., 2018;
	2	Masebinu et al., 2018; Ulusoy et al., 2017; Budzianowski y Budzianowska, 2015
	3	Budzianowski y Budzianowska, 2015; Masebinu et al., 2018

## 4.2 Valoración de costes y beneficios por escenario

Los valores de los diferentes costes/beneficios identificados para cada uno de los escenarios previstos se han obtenido a partir de una revisión bibliográfica. Con la finalidad de poder comparar diferentes entornos ha sido necesario unificar la unidad de medida de los costes y beneficios seleccionados, para lo que se ha optado por utilizar la unidad €/ton de FORM tratada utilizando la conversión de la divisas media del año 2017. En el caso de la valoración en términos económicos de las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas se han utilizado los bonos que permiten convertir las toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente en € a través de un factor de 5,83 € (promedio anual de 2017 en el mercado de carbono). La monetización de las emisiones de CO<sub>2</sub> fue establecida en el Acuerdo de París (Naciones Unidas, 2015), dentro de las estrategias para limitar el aumento de las temperaturas y tuvo el apoyo del Fondo Monetario Internacional que afirmó que esta estrategia tenía un rol clave en la construcción de una economía baja en carbono (Farid et al, 2016).

### 4.2.1 Análisis del valor de los costes obtenidos

Aunque depende de la tecnología aplicada, como se muestra en la figura 2 los sistemas de compostaje requieren costes de inversión menores, que oscilan entre 18,49 - 78,15 €/ton, si se comparan con los que llevan a cabo una biometanización de la materia orgánica. Hay que tener en cuenta la mayor complejidad técnica de la digestión anaerobia (Galgani et al., 2014; Ruggieri et al., 2009), que además requiere de la instalación de sistemas limpieza del biogás y de conversión a calor y/o electricidad en el caso del Escenario 2, y de enriquecimiento y limpieza en el caso del Escenario 3 (Miltner et al., 2017). Esto se traduce en unos valores de instalación que varían entre 50,62-243,51 €/ton y 39,9-131,58 €/ton respectivamente.

En relación a los costes de operación y mantenimiento se puede observar que, aunque los valores medios se encuentran en el mismo orden de magnitud para todos los escenarios, en el caso del Escenario 2 son menores. Este resultado puede explicarse porque en la actualidad las tecnologías de degradación aerobia buscan reducir los impactos ambientales

así como la reducción de superficie ocupada, por lo que se ha pasado de los tradicionales sistemas abiertos, de bajo coste de mantenimiento (Couth y Trois, 2012; Cukjati et al., 2012) a sistemas más complejos que los han incrementado fundamentalmente por la necesidad de airear, humidificar o reducir los tiempos de compostaje (Gabhane et al., 2012; Lim et al., 2016; Muscolo et al., 2018). Por último, el Escenario 3 presenta los mayores costes de operación y mantenimiento que se atribuyen en parte a la especialización necesaria para el control y operación de una tecnología, aún novedosa, con una menor implantación en la actualidad así como los costes derivados de las distancias que en muchas ocasiones hay que cubrir como consecuencia de la descentralización de las instalaciones productoras de metano (Hoo et al., 2018).

#### 4.2.2 Análisis del valor de los beneficios obtenidos

El beneficio que puede ser obtenido por la venta de subproductos en los Escenarios 1 y 2 se encuentran en un rango similar por tonelada de residuo tratado, entre 5,60 - 29,91 €/ton y año por venta de compost y entre 3,87 –y 27,63 €/ton por venta de electricidad respectivamente. En el caso del Escenario 3 se observa unos ingresos potenciales mayores por la venta del biometano debido a que el enriquecimiento del biogás en biometano le da un valor de venta mayor ya que su eficiencia energética también será mayor (Hengeveld et al., 2016 ). Finalmente, en el caso de los Escenarios 2 y 3 hay que añadir la monetización de las emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas, un beneficio que no está presente en el Escenario 1. Este valor oscila entre 0,44 y 4,39 €/ton y año y 1,47 y 4,39 €/ton.año para los Escenarios 2 y 3 respectivamente; el valor mínimo es menor en el caso de la producción de electricidad debido a que en este caso hay una etapa más en el proceso con respecto al Escenario 3, la producción de electricidad (Miltner et al., 2017; Pöschl et al., 2010), lo que se traduce finalmente en una eficiencia energética menor y por tanto en una menor reducción de emisiones final.

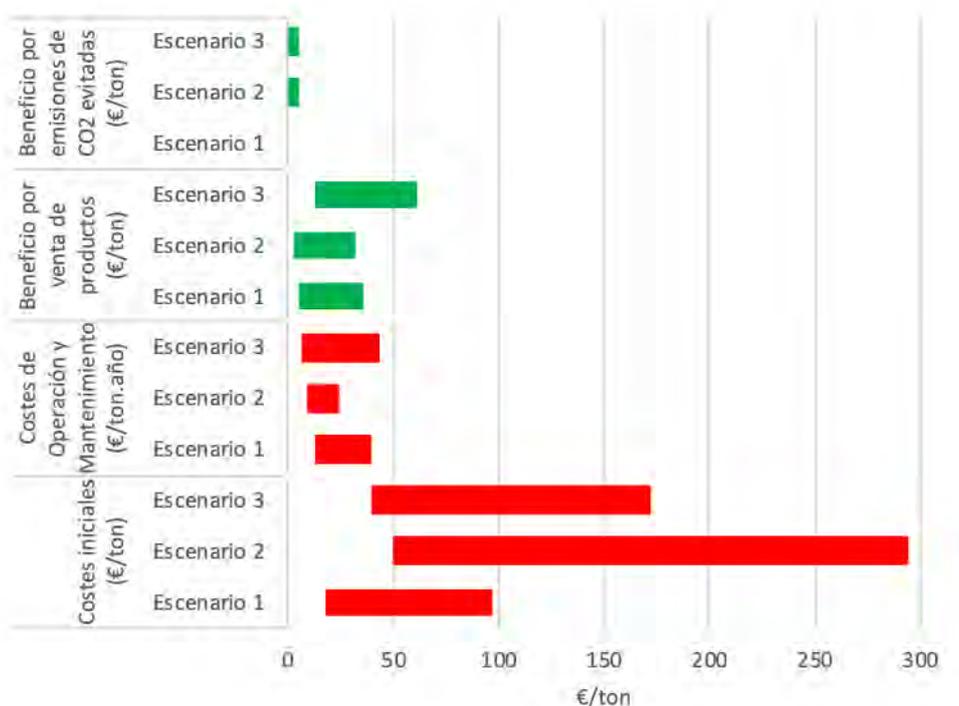


Figura 2: Rango de costes y beneficios (mínimo-máximo) para cada uno de los escenarios definidos

## 4.3 Análisis de viabilidad de la inversión por escenario

### 4.3.1 Determinación del canon para VANf neutro

Una vez obtenidos los valores máximos y mínimos de los diferentes costes y beneficios considerados para cada escenario, se ha cuantificado económicamente el canon que permite lograr un rendimiento de equilibrio en la propuesta de viabilidad para los diferentes escenarios, es decir que el VANf sea igual a 0. Para ello se ha asumido el canon como un ingreso anual fijo, y se ha aplicado la Expresión 2 y la Expresión 3.

En la Figura 3 se recoge el rango en el que podría oscilar el canon por tonelada de residuo tratado para cada uno de los escenarios teniendo en cuenta los costes y beneficios anteriormente mencionados para lograr un VANf neutro; este valor representa la cantidad que los usuarios deberían pagar para obtener la rentabilidad requerida, que en este caso se ha fijado en el 12%. Se observa que el mayor valor medio para el canon se corresponde con el Escenario 2 (22,09 €/ton), seguido del Escenario 1 (10,49 €/ton) y finalmente el Escenario 3, con un valor considerablemente menor (6,38 €/ton). Estos resultados son debidos los mayores costes iniciales y a los bajos ingresos por venta de electricidad que se observan en el Escenario 2, frente a unos mayores valores por la venta de biometano y unos costes de inversión menores, a pesar de los mayores costes de instalación. En el caso del Escenario 1, aunque los costes, en términos generales, son menores, también lo son los potenciales ingresos derivados de la venta de compost, que no siempre tiene una demanda elevada y calidad aceptable (Case et al., 2017; Lorang et al., 2017). En consecuencia el menor canon resultante en el Escenario 3 implicaría una mejor aceptación social.

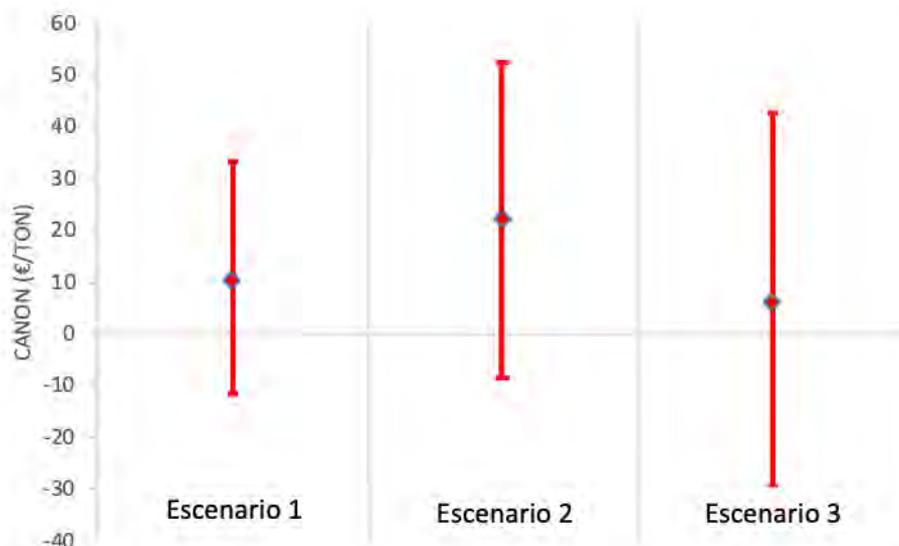


Figura 3: Canon para VANf neutro para cada uno de los escenarios mediante AMC

### 4.3.2 Determinación del VANsocial

Una vez establecido el canon para que el VANf sea neutro, y con el fin de cuantificar la mejora ambiental, y en consecuencia social, que supone la implementación de cada uno de los escenarios, se ha determinado el VANs para los Escenarios 2 y 3, que son los que incluyen emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas que hace que de estos dos escenarios una alternativa más viable social y ambientalmente que el tratamiento biológico aerobio convencional de compostaje (Escenario 1). Los resultados obtenidos se recogen en Figura 4. Se puede observar que el VANs en el Escenario 2 oscila entre 2,49 y 24,81 €/ton con un valor medio de 13,59 €/ton lo cual deja patente que es una opción que presenta un beneficio ambiental

claro. Sin embargo este beneficio es aún mayor en el caso de la obtención de biometano para su uso en red ya que su valor aumenta en más de 3 € por tonelada, lo que lo sitúa en un valor medio en 16,60 €/ton, con un rango que se encuentra entre 8,31 y 24,81 €/ton.

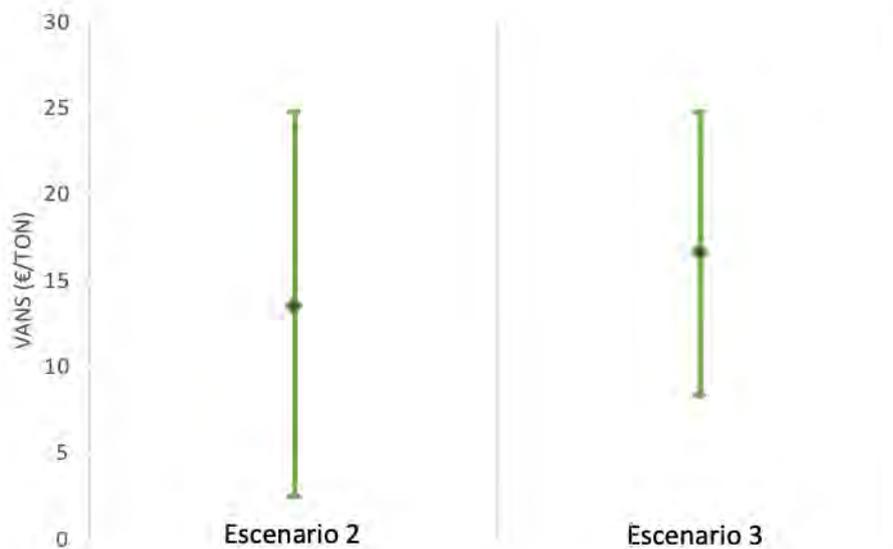


Figura 4: VANs obtenidos para cada uno de los escenarios mediante AMC

## CONCLUSIONES

A partir del análisis coste beneficio desarrollado de forma comparativa a los tres escenarios para poder analizar la viabilidad económica y ambiental se han extraído las siguientes conclusiones:

- Aunque los menores costes de inversión se dan en el Escenario 1 (compostaje) y los de operación y mantenimiento se dan en el Escenario 2 (producción eléctrica), es el Escenario 3 (producción de biometano para la inyección en red) el que presenta unos costes iniciales y de operación y mantenimiento intermedios.
- El canon medio que hace que el VANf sea neutro fue 10,49, 22,09 y 6,38 €/ton tratada para los Escenarios 1, 2 y 3 respectivamente, lo que indica que el proceso financieramente más viable es el de inyección en red de biometano, seguido del proceso de compostaje. Un menor canon de gestión implica, generalmente, una mayor aceptación por parte de la sociedad por lo que la mejor opción a este respecto es la descrita en el Escenario 3.
- Para cuantificar el beneficio social y ambiental se procedió al cálculo del VANsocial para cada uno de los escenarios en los que se consideran emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas por la producción de energía (Escenarios 2 y 3). Se observa que el VANsocial medio aumentó en el Escenario 3 frente al Escenario 2 en 3,01 €/ton lo que indica que la producción de biometano para inyección en red mejora la viabilidad ambiental y social con respecto a los otros dos escenarios.

Se puede por tanto concluir que la producción de biometano para su uso en redes de gas natural es la estrategia más viable desde el punto de vista económico, social y ambiental, permitiendo el desarrollo de un modelo de una economía circular destinada a mejorar la gestión de los residuos, reducir en consumo de recursos naturales, así como las emisiones de GEI.

## REFERENCIAS

- Abadie L.M., Chamorro J.M. Investment in Energy Assets under Uncertainty. Publisher: Springer, London. 2013.
- Amores A., Álvarez L., Chico J., Ramajo G., Sánchez M., Renobales C. Un modelo energético sostenible para España en 2050. Recomendaciones de política energética para la transición. Monitor Deloitte. 2016.
- Aye L., Widjaya E.R. Environmental and economic analyses of waste disposal options for traditional markets in Indonesia. Waste Manag. 2006; 26 (10): 1180-1191.
- Bekchanow M., Mirzabaev A. Circular economy of composting in Sri Lanka: Opportunities and challenges for reducing waste related pollution and improving soil health. Journal of Cleaner Production 2018; 202: 1107-1119.
- Bernal M.P., Albuquerque J.A., Bustamante M.A., Clemente R. Guía de Utilización Agrícola de Materiales Digeridos por Biometanización. Centro de Edafología y biología Aplicada del Segura. CSIC, 2011, 1-103.
- BNetzA. Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen. Bericht der Bundesnetzagentur über die Auswirkungen der Sonderregelungen für die Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz (in German). 2011 Available from: [http://www.bundesnetzagentur.de/cln\\_1931/DE/Presse/Berichte/berichte\\_node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/cln_1931/DE/Presse/Berichte/berichte_node.html)
- Boardman A. Greenberg D., Vining A., Weimer D. Cost–Benefit Analysis: Concept and Practice (fifth ed), Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 2010.
- Bowe E. DeutscheEnergie-AgenturGmbH,Germany. Market development and certification schemes for biomethane. Woodhead Publishing Limited, 2013.
- Browne D., O'Mahony M., Caulfield B. How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated?. Journal of Cleaner Production 2012; 35:140-151.
- Budzianowski W., Budzianowsha D. Economic analysis of biomethane and bioelectricity generation from biogas using different support schemes and plant configurations. Energy 2015; 88: 658-666.
- Budzianowski W.M., Postawa K. Renewable energy from biogas with reduced carbon dioxide footprint: implications of applying different plant configurations and operating pressures. Renewable Sustainable Energy 2017; 68 (2): 852-868.
- Case S.D.C., Oelofse M., Hou Y., Oenema O., Jensen L.S. Farmer perceptions and use of organic waste products as fertilisers e a survey study of potential benefits and barriers. In: Agricultural Systems 2017; 151: 84-95.
- Couth R., Trois C. Cost effective waste management through composting in Africa. Waste Manag. 2012; 32: 2518-2525.
- Cucchiella F. D'Adamo I., Gastaldi M., Miliacca M. A profitability analysis of small-scale plants for biomethane injection into the gas grid. Journal of Cleaner Production 2018; 184: 179-187.
- Cukjati N., Zupancic G.D., Ros M., Grilc V. Composting of anaerobic sludge: an economically feasible element of a sustainable sewage sludge management. J. Environ. Manag. 2012; 106: 48-55.
- De Clercq D., Wen Z., Fei, F. Economic performance evaluation of bio-waste treatment technology at the facility level. Resources, Conservation and Recycling 2017; 116: 178–184.

De Rosa M. Economic assessment of producing and selling biomethane into a regional market. *Energy & Environment* 2018; 0(0) 1–17.

Dirección General CCI de la Comisión Europea. Centro Común de Investigación. Instituto de Estudios Tecnológicos Prospectivos Prevención y control integrados de la contaminación Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos. 2006.

Dobraja K., Barisa A., Rosa M. Cost-benefit analysis of integrated approach of waste and energy management. *Energy Procedia* 2016; 95: 104-111.

Dodds P.E., McDowall W. The future of the UK gas network. *Energy Policy* 2013; 60: 305–316.

Entreprises pour l'Environnement. Protocolo para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en actividades de gestión de residuos. Fundación biodiversidad, ASEGRE. 2010.

Farid M., Keen M., Papaioannou M., Parry I., Pattillo C., Ter-Martirosyan A., and other IMF Staff. After Paris: Fiscal, Macroeconomic, and Financial Implications of Climate Change. International Monetary Fund. 2016.

Farrell M., Jones D.L. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresour Technol* 2009; 100: 4301–10.

Florio M. Applied Welfare Economics: Cost–Benefit Analysis of Projects and Policies Routledge, London. Rur. 2014.

Gabhane J., William S.P.M.P., Bidyadhar R., Bhilawe P., Anand D., Vaidya A.N., Wate S.R. Additives aided composting of green waste: effects on organic matter degradation, compost maturity, and quality of the finished compost. *Bioresour. Technol.* 2012; 114: 382-388.

Galgani P., van der Voet E., Korevaar G. Composting, anaerobic digestion and biochar production in Ghana. Environmental-economic assessment in the context of voluntary carbon markets. *Waste Manag.* 2014; 34: 2454-2465.

Gutiérrez E.C., Wall D. M., O'Shea R., Novelo R.M., Moreno-Gómez M., Murphy J.D. An economic and carbon analysis of biomethane production from food waste to be used as a transport fuel in Mexico. *Journal of Cleaner Production* 2018; 196: 852-862.

Hengeveld E.J., Bekkering J., Gemert W.J.T., Broekhuis A.A. Biogas in- frastructures from farm to regional scale, prospects of biogas transport grids. *Biomass Bioenergy* 2016; 86: 43-52.

Hoo P.Y., Hashim H., Ho W.S. Opportunities and challenges: Landfill gas to biomethane injection into natural gas distribution grid through pipeline . *Journal of Cleaner Production* 2018; 175: 409-419.

Howard R., Bengherbi Z. Too Hot to Handle? How to decarbonise domestic heating. London, Policy Exchange. 2016.

KPMG, 2016. 2050 Energy Scenarios: The UK Gas Networks role in a 2050 whole energy system. 2016 from <http://www.energynetworks.org/assets/files/gas/futures/KPMG%20Future%20of%20Gas%20Main%20report%20plus%20appendices%20FINAL.pdf>.

Larsson M., Grönkvist S., Alvfors P. Upgraded biogas for transport in Sweden e effects of policy instruments on production, infrastructure deployment and vehicle sales. *Journal of Cleaner Production* 2016; 112: 3774-3784.

Li Y, Park SY, Zhu J. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Review* 2018; 15:821–6.

Lim S.L., Lee L.H., Wu T.Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production* 2016; 111: 262-278.

Lin L., Xu F., Ge X., Li Y. Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renewable and Sustainable Energy Review* 2018; 89: 151-167.

Lorang A.G., Soliva i Torrentó M., Huerta O. El mercado del compost en Cataluña. Oferta y demanda. *Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (ESAB)* 2005.

Makádi M., Tomócsik A., Orosz V. Digestate: A New Nutrient Source-Review. *Research Institute of Nyíregyháza, RIS, CAAES, University of Debrecen, Hungary*. 2011; 14: 295-310.

Masebinu S.O., Akinlabi E.T., Muzenda E., Aboyade A.O. Mbohwa C. Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market *Waste Management* 2018; 75: 236–250.

Miller C.A. *Vulnerability of Energy to Climate. Volumen 3. Climate Vulnerability*, 2013

Miltner M., Makaruk, A., Harasek, M.. Review on available biogas upgrading technologies and innovations towards advanced solutions. *Journal of Cleaner Productio* 2017; 161 (Suppl. C): 1329-1337.

Ministerio de Transición Ecológica (MITECO). Resolución de 8 de octubre de 2018, por la que se modifican las normas de gestión técnica del sistema NGTS-06, NGTS-07 y los protocolos de detalle PD-01 y PD-02. BOEnº 256, de 23 de octubre de 2018, páginas 102917 a 102950.

Musco A., Papalia T., Settineri G., Mallamci C., Jeske-Kaczanowska A. Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties *Journal of Cleaner Production* 2018; 195: 93-101.

Acuerdo de París. Naciones Unidas. 2015.

Pergola M., Piccolo A., Palese A.M., Ingrao C., Di Meo V., Celano G. A combined assessment of the energy, economic and environmental issues associated with on-farm manure composting processes: two case studies in South of Italy. *J. J. Clean. Prod.* 2018; 172: 3969-3981.

Rasheed R., Khan N., Yasar A., Su Y., Tabinda A.B. Design and cost-benefit analysis of a novel anaerobic industrial bioenergy plant in Pakistan. *Renewable Energy* 2016; 90: 242-247.

Rodhe L., Salomon E., Edström M. Handling of digestate on farm level. *JTI (Institutet för jordbruks-och miljöteknik.)* 2006.

Ruggieri L., Cadena E., Martínez-Blanco J., Gasol C.M., Rieradevall J., Gabarrell X., Gea T., Sort X., Sanchez A. Recovery of organic waste in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *J. Clean. Prod.* 2009; 17: 830-838.

Ruiz D, San Miguel G, Corona B, Gaitero A, Domínguez A. Environmental and economic analysis of power generation in a thermophilic biogas plant. *Sci Total Environ* 2018; 15:633:1418-1428.

Sadler D., Cargill A., Crowther M., Rennie A., Watt J., Burton, S., Haines M. H21 Leeds City Gate." Retrieved 17th August 2016, from [http://www.Dec2013\\_GSOK.pdf](http://www.Dec2013_GSOK.pdf). 2016.

Sheets J.P., Yang L., Ge X., Wang X., Li Y. Beyond land application: emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management* 2015; 44: 94-115.

Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresources Technology* 2000; 72: 169–83.

Ulusoy Y., Ulukardesler A.H., ; Arslan R., Tekin Y. IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) Energy and emission benefits of chicken manure biogas production - A case study Conferences, 2017.

Urban W. Gasnetze der Zukunft – Studie zu den Auswirkungen der Biogaseinspeisung in das Erdgasnetz auf den Netzbetrieb und Endverbraucher, UMSICHT, Oberhausen. 2010.

Vo., T.T.Q., Wall D.M., Ring D., Rajendran K., Murphy J. D. Techno-economic analysis of biogas upgrading via amine scrubber, carbon capture and ex-situ methanation. *Applied Energy* 2018; 212: 1191–1202.

Yang L, Ge X, Wan C, Yu F, Li Y. Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels. *Renewable and Sustainable Energy Review* 2014;40:1133–52.

Zore Z., Cucek L., Srovnik et al. Maximizing the sustainability net present value of renewable energy supply networks. *Chemical Engineering Research and Design* 2018; 131: 245-265.

Zulkepli N.E., Muis Z.A., Mahmood N.A.N., Hashim H., Ho W.S. Cost Benefit Analysis of Composting and Anaerobic Digestion in a Community: A Review. *Chemical Engineering Transactions*, 2017; 56: 1777-1782.

## **Agradecimientos**

A Nedgia - Grupo Naturgy, por la confianza depositada en la ETSICCP de la Universidad de Granada y en la empresa Proma, Proyectos de Ingeniería Ambiental S.L. para la realización de este estudio y permitirnos seguir creciendo en nuestra labor de investigación en el ámbito de las energías renovables a partir de los residuos municipales.

## **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: José María Fernández González  
Teléfono: +669 59 94 69  
E-mail: [josemaria@promaingenieros.com](mailto:josemaria@promaingenieros.com)

## **Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Inmaculada Bote  
Beatriz Montalbán  
*Universidad de Extremadura*

**ACERCAMIENTO TEÓRICO AL CONCEPTO  
DE ECONOMÍA CIRCULAR DESDE LA  
PERSPECTIVA MACRO DE LA CIUDAD Y  
EL CONTEXTO POBLACIONAL  
EXTREMEÑO**

### Resumen

En estos momentos en los que el consumo de recursos naturales no renovables así como la generación de residuos es alarmante a nivel mundial, la necesidad de la sostenibilidad se muestra imperante en los ámbitos gubernamentales internacionales, en los que se impulsa la Economía Circular (EC) para lograrla. La EC puede aplicarse en distintos niveles, ya que actúa en varias categorías que se desarrollan, amplían y avanzan desde lo micro – productos, empresas, consumidores-, a lo medio –parques eco-industriales-, y hasta lo macro –ciudad, región, nación y más-. La Comisión Europea nos presenta como visión de futuro una “economía circular innovadora”, en la que las ciudades sostenibles son un objetivo fundamental. Y es que, según el Panel Internacional de Recursos lanzado por ONU Medio Ambiente, solamente las ciudades son responsables del 60% del consumo doméstico de materiales (CDM) a nivel mundial. No obstante, en contextos territoriales como el extremeño, en los que el 50% de la población vive en núcleos de menos de 2000 habitantes, resulta de especial interés la ampliación del estudio a núcleos poblacionales en general eliminando la limitación de lo urbano, pero manteniéndonos en el aspecto macro propio de la EC. En esta comunicación se realiza un acercamiento al concepto de EC desde un punto de vista macro. Analizando los estudios más destacados en la materia, se centra en el contexto de los núcleos poblacionales de manera general para poder dar cabida a distintos escenarios de aplicación o de estudio específico -aldeas, pueblos, ciudades, etc-, y posteriormente en el contexto poblacional extremeño. De esta manera, se aporta un marco teórico que define la relación entre el concepto de EC y su implementación en los núcleos de población extremeños.

### Resumen en Inglés

At this point in which the consumption of non-renewable natural resources as well as the generation of waste is alarming worldwide, the need for sustainability is prevailing in international governmental areas, where the Circular Economy (CE) is promoted to achieve it. The CE can be applied in different levels, since it acts in several categories that develop, expand and advance from the micro -products, companies, consumers-, to the meso -eco-industrial parks-, and even the macro -city, region, nation and beyond-. The European Commission presents as a vision of the future an "innovative circular economy", in which sustainable cities are a fundamental objective. And, according to the International Resource Panel launched by UN Environment, only cities are responsible for 60% of the domestic material consumption (DMC) worldwide. However, in territorial contexts such as Extremadura, in which 50% of the population lives in nucleus of less than 2000 inhabitants, it is of special interest to extend the study to population nucleus in general eliminating the limitation of the urban, but keeping us in the macro aspect of the CE. In this communication

an approach is made to the concept of CE from a macro point of view. Analyzing the most prominent studies in the subject, it focuses on the context of the population nucleus in a general way to be able to accommodate different scenarios of application or specific study: villages, towns, cities, etc, and subsequently in the Extremaduran population context. In this way, a theoretical framework is provided that defines the relationship between the concept of CE and its implementation in Extremaduran population nucleus.

**Palabras clave:** *economía circular; sostenibilidad; concepto; macro*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles del espacio urbano*

## 1. Introducción

La Economía Circular (EC) se posiciona cada vez más como eje direccional de la sostenibilidad. Las políticas internacionales, como el paquete de medidas sobre EC de la Comisión Europea (2015), fomentan esta situación buscando reducir el consumo de recursos y la generación de residuos. Desde el concepto de EC (Kirchherr, et al. , 2017) (Prieto Sandoval, et al., 2018), esta situación puede desarrollarse a distintos niveles, desde el micro, correspondiente a productos, empresas o consumidores, hasta el macro, en el que intervendrían las ciudades, regiones, gobiernos, etc.

Ya lo indicaba la Comisión Europea (2014) en su visión para el 2050: “Nuestra prosperidad y nuestro medio ambiente saludable son la consecuencia de una economía circular innovadora, donde nada se desperdicia y en la que los recursos naturales se gestionan de forma sostenible”. En este sentido, las ciudades suponen un ámbito relevante en el que actuar puesto que gran parte de los recursos a nivel mundial se consumen en ellas, como indican las cifras que se aportan en El peso de las ciudades (Panel Internacional de Recursos. ONU Medio Ambiente, 2018), que sitúan en un 60% el consumo doméstico de materiales a nivel mundial (CDM) en las mismas.

En este punto se muestra relevante el concepto de Ciudad Circular (CC), que son aquellas ciudades que apuestan por la EC y la circularidad. Sin embargo, al preguntarse qué es una ciudad o qué es lo urbano nos encontramos con ciertas limitaciones. Esto se debe a que las definiciones son muy diversas, dependiendo del investigador o de los organismo oficiales que las aporten (Capel, 1975).

En el caso de Extremadura, en el que la mitad de la población vive en núcleos de menos de 2000 habitantes, resulta necesario aportar un marco concreto de aplicación de la economía circular en lo macro, puesto que no se trata de un territorio con grandes ciudades en las que suelen centrarse las estrategias de economía circular. Aproximadamente, sólo un 2,8% de dichas estrategias se aplican en municipios de menos de 20000 habitantes (Petit-Boix y Leipold, 2018).

En este sentido, la Declaración de Quito (Asamblea General. Naciones Unidas, 2016) recoge como ámbito de actuación ciudades, pueblos, aldeas y asentamientos humanos en general de todos los tamaños. En relación a esto, la Agenda Urbana Española (Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2019) incide en la actuación de otro tipo de municipios como los pueblos y ciudades pequeñas.

## 2. Materiales y métodos

La metodología desarrollada en esta comunicación se divide en dos fases:

1. Primero se realiza una revisión bibliográfica actualizada centrada en dos aspectos:
  - Por una parte, se realiza una búsqueda respecto al concepto de EC, y por enlace, de CC. Esta búsqueda se realiza a través de ScienceDirect y Web of Science en revistas indexadas, como *Journal of Cleaner Production* o *Resources, Conservation and Recycling*.
  - Por otra, se revisan los documentos gubernamentales a nivel territorial, sobre los núcleos poblacionales y sus tipos en general, relacionados con Extremadura.
2. Tras este primer paso de búsqueda de referencias se realiza un estudio de cada uno de estos conceptos –EC y CC-, y de cada tipo de núcleo poblacional destacando sus elementos clave.

### 2.1. Conceptos de EC y CC y categorías de núcleos poblacionales

#### 2.1.1. Economía Circular

El auge actual de la EC podría haber convertido el contenido del concepto en algo impreciso o difuso (Kirchherr, et al., 2017), también debido a los diferentes enfoques y aplicaciones estudiados en cada investigación sobre la EC (Prieto Sandoval, et al., 2018). Por ello, como definición del concepto, tomamos las aportadas por dos estudios actuales que se basan en el consenso.

- Por una parte, Kirchherr, Reike y Hekkert (2017), realizan un análisis de 114 definiciones distintas sobre EC, y en base a ello proponen la siguiente (Fig.1):

“Definimos Economía Circular dentro de nuestro marco de codificación iterativamente desarrollado como un sistema económico que reemplaza el concepto de "final de vida" con la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación de materiales en los procesos de producción/distribución y consumo. Opera a nivel micro (productos, empresas, consumidores), a nivel medio (parques ecoindustriales) y a nivel macro (ciudad, región, nación y más), con el objetivo de lograr un desarrollo sostenible, creando simultáneamente calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social, en beneficio de las generaciones actuales y futuras. Está habilitado por nuevos modelos de negocio y consumidores responsables.”
- Por otra, Prieto Sandoval, Jaca y Ormazabal (2018), tras realizar una revisión bibliográfica y un mapa de conocimiento de la EC, proponen la siguiente (Fig. 2):

“Un sistema económico que representa un cambio de paradigma en la forma en que la sociedad humana está interrelacionada con la naturaleza y tiene como objetivo evitar el agotamiento de los recursos, cerrar bucles energéticos y materiales, y facilitar el desarrollo sostenible a través de su implementación a nivel micro (empresas y consumidores), nivel medio (agentes económicos integrados en simbiosis) y nivel macro (ciudad, regiones y gobiernos). Lograr este modelo circular requiere innovaciones ambientales cíclicas y regenerativas en la forma en que la sociedad legisla, produce y consume.”

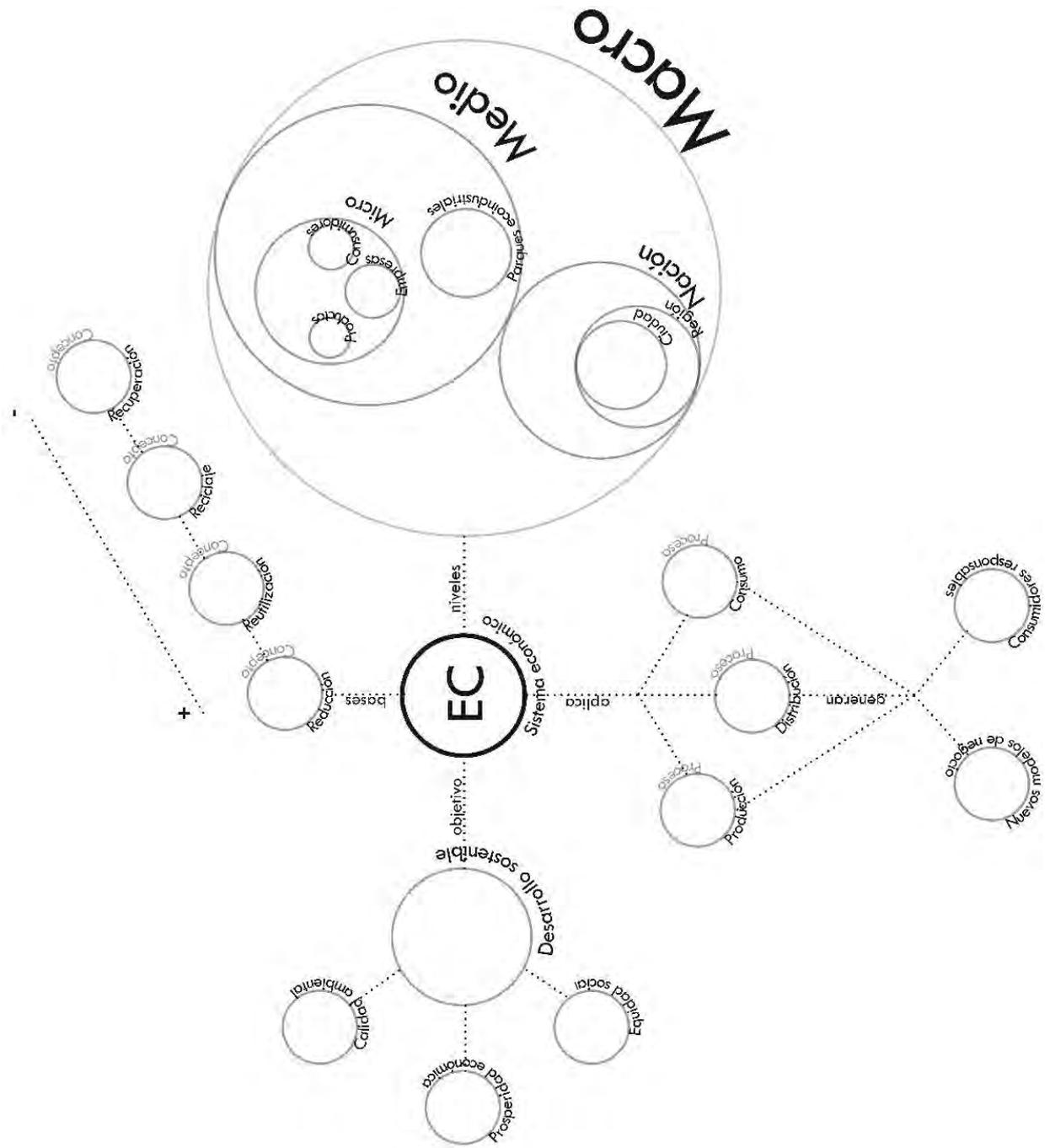


Figura 1: Definición de EC. Elaboración propia a partir de Kirchherr et al. (2017).

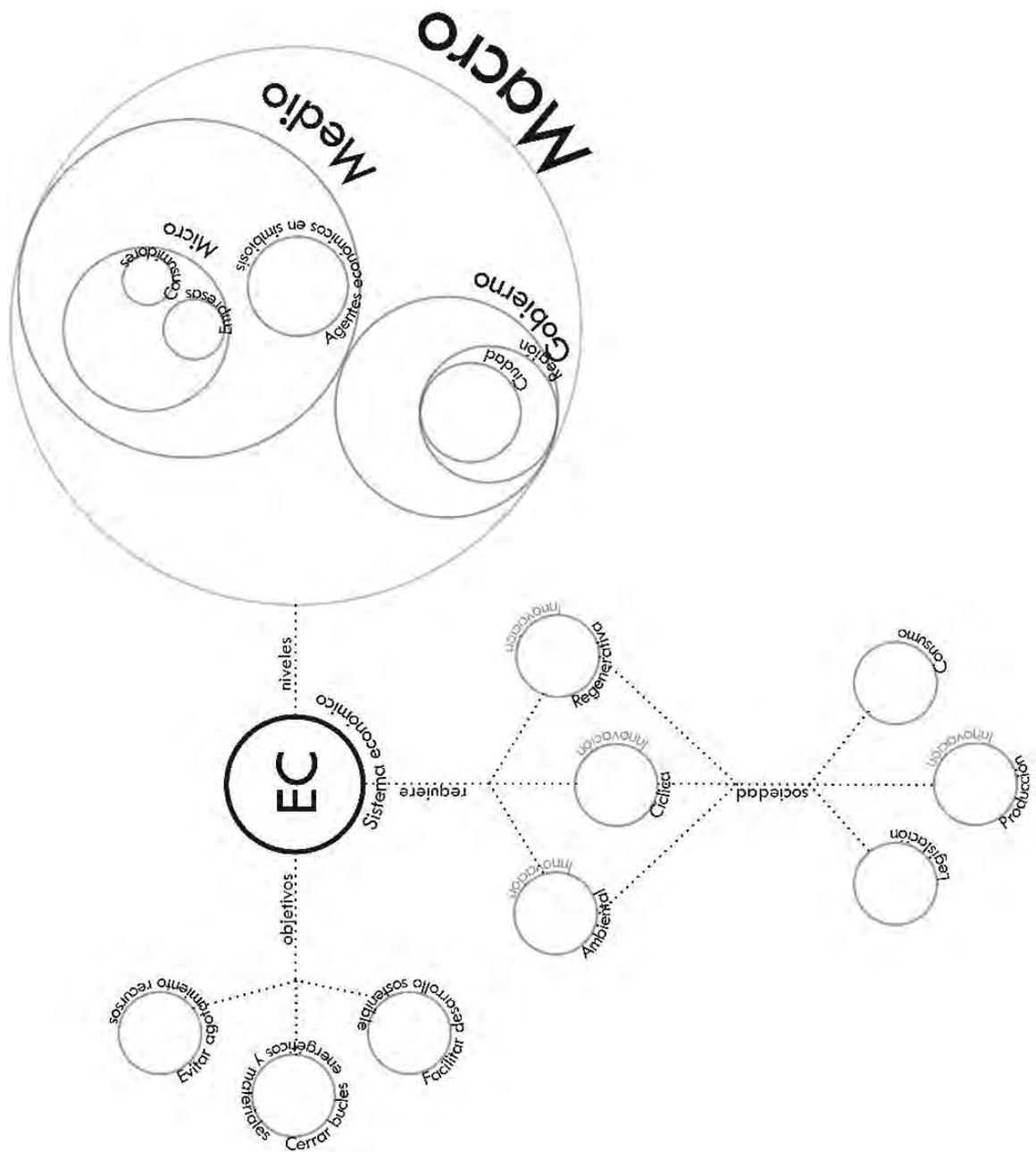


Figura 2: Definición de EC. Elaboración propia a partir de Prieto Sandoval et al. (2018).

### 2.1.2. Ciudad Circular

Al igual que sucede con el concepto de EC, el concepto de CC, derivado de él, no ha sido definido con claridad, ni se ha llegado a un consenso respecto a ello. Es por esta razón, que tomamos dos definiciones o principios que se desprenden de la literatura más actualizada sobre el tema:

- Autores como Prendeville, Cherim y Bocken (2018) describen un marco conceptual en los que indican los principios de las ciudades circulares: regenerar, compartir, optimizar, bucle, virtualización, intercambiar. Estos principios se basan en la adaptación del marco ReSOLVE desde un entorno empresarial o político en el que se aplique la EC (EMF, 2015). (Fig. 3).

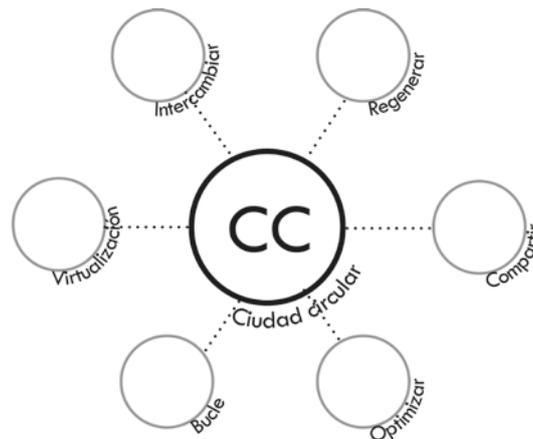


Figura 3: Definición de CC. Elaboración propia a partir de Prendeville et al. (2018).

- Otros como Petit-Boix y Leipold (2018), agrupan los resultados de su investigación sobre CC en ciudades en 4 grandes bloques de objetivos urbanos basados en las características de las ciudades circulares de Qian y Wang (2016), y Zhijun y Nailing (2007): infraestructura, consumo social, industrias y negocios y planeamiento urbano. (Fig. 4).

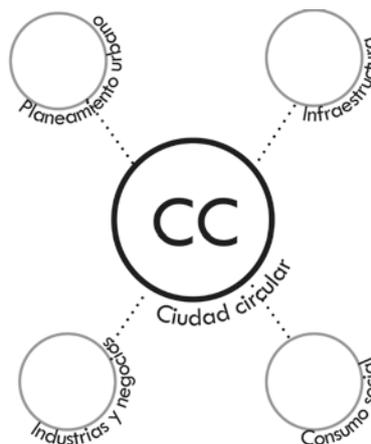


Figura 4: Definición de CC. Elaboración propia a partir de Petit-Boix et al. (2018).

### 2.1.3. Núcleos poblacionales en Extremadura

Para desarrollar este apartado se ha tomado como referencia lo establecido en las Directrices de Ordenación Territorial de Extremadura (Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio. Junta de Extremadura, 2015), por ser el documento más actualizado que mejor recoge la realidad poblacional extremeña. De esta manera, se clasifican en 4 categorías en función de la calidad de vida (fig. 5):

- “Grupo A. Ciudades mayores y asimiladas [...]. Corresponden a este grupo, los municipios más poblados y activos con más de 10.000 habitantes [...], agrupando el mayor número de funciones urbanas.”
- “Grupo B. Sierras del Sureste objetivamente mejorables, [...] predominan los municipios de menos de 1000 habitantes, aunque es significativa la presencia de municipios de más de 5000 habitantes. Se trata de núcleos esencialmente rurales y que carecen de funciones distintas a las del soporte residencial básico.”
- “Grupo C. Pueblos tradicionales [...]. Municipios entre 1000 y 5000 habitantes y presentan un crecimiento poblacional de tendencia negativa, un débil equipamiento social aunque también algunas funciones supralocales en función de su posición territorial.”
- “Grupo D. Municipios de transición rural – urbano [...]. En este grupo también abundan los municipios entre 1000 y 5000 habitantes. En este grupo se destaca una tasa de natalidad más elevada que la media de la región aunque también presenta un descenso poblacional.”

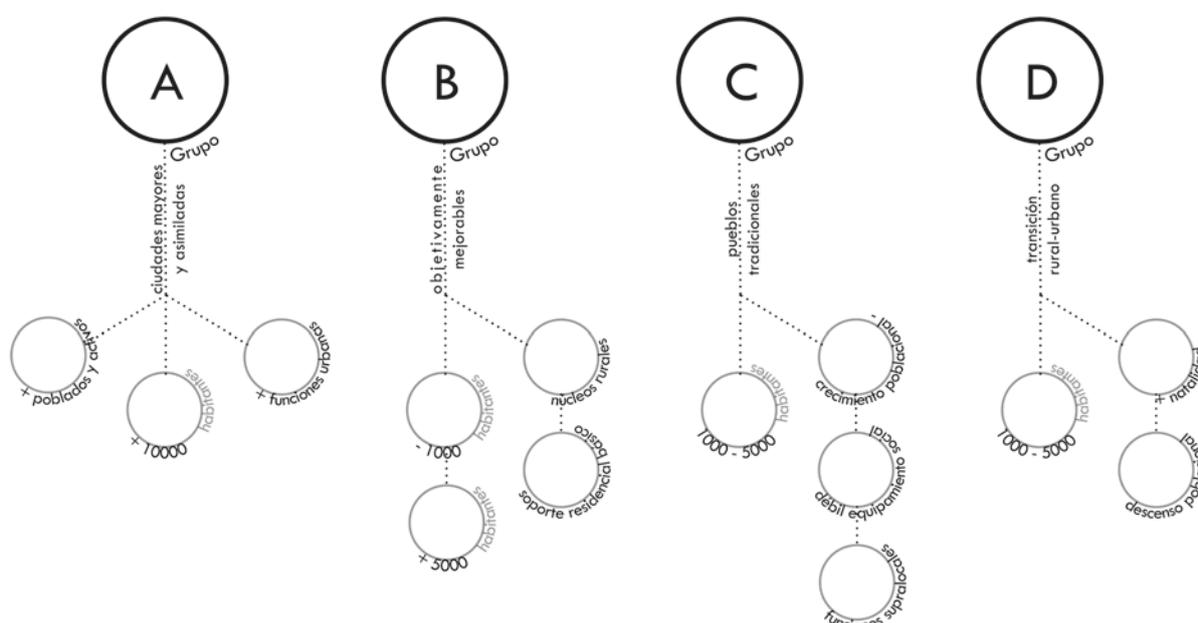


Figura 5: Categorías de núcleos poblacionales en Extremadura. Elaboración propia a partir de Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio. Junta de Extremadura, (2015).

### 3. Resultados

Teniendo en cuenta las definiciones seleccionadas de EC, de CC y las categorías de núcleos poblacionales en Extremadura, establecemos una serie de interrelaciones entre ellos para obtener los ítems o características aplicables en los núcleos poblacionales. Este proceso se realiza en dos etapas:

- En primer lugar se establecerán interrelaciones entre las dos definiciones de EC y de CC respectivamente para después buscar las características e ítems comunes entre ellas: “ítems B” por aparecer en las dos definiciones y ser por tanto básicos de los conceptos; e “ítems +”, los cuales, aún sin formar parte de las dos definiciones, aportan impulso a la circularidad. Se obtienen así los ítems que deben tener los núcleos poblacionales que implementen la EC, y por ende, tengan como objetivo ser consideradas como CC.
- En segundo lugar, se analizará de manera aproximada la posibilidad de implementación de los ítems obtenidos en la etapa anterior en cada categoría poblacional extremeña.

#### 3.1. Economía Circular y Ciudad Circular

Respecto a la EC, se desprende de la tabla 1 lo siguiente:

- Los ítems como evitar el agotamiento de recursos o los bucles materiales – especificado en Kirchherr et al. (2017) con los conceptos de reducción, reutilización, reciclaje y recuperación-, la búsqueda del desarrollo sostenible, los niveles de implementación –micro, medio y macro-, o la incidencia en la producción y el consumo, están presentes en ambas definiciones.
- Aunque se trata de definiciones con matices diferentes, puesto que aparecen hasta cuatro “ítems +”, en ambas definiciones se pone de manifiesto la posible aplicación de la EC a distintos niveles, y dentro de esos niveles, se destaca la ciudad en lo macro. Podríamos decir, por tanto, que las ciudades o poblaciones aparecen como uno de los niveles esenciales en los que implementar la EC, al igual que en las empresas, parques ecoindustriales o agentes económicos integrados en simbiosis, gobiernos, etc.

En cuanto a la CC, a continuación se muestra lo obtenido de la tabla 2:

- Aunque a priori parezcan principios muy diferentes entre sí, a la hora de su aplicación pueden ser comunes o compatibles. Por ejemplo, en el caso de la regeneración podrían tratarse de cubiertas destinadas a la generación de energía solar o cubiertas vegetales, que podrían ser parte de la infraestructura de espacios verdes o de la infraestructura energética, y al mismo tiempo generar consumo social, industrias o negocios locales o formar parte del planeamiento urbano como dotaciones o como espacios privados dentro de unos usos mixtos regulados. Lo mismo ocurre cuando hablamos de compartir, optimizar, bucle, virtualización e intercambiar, puesto que todas se afectan unas a otras y se interrelacionan, con cuestiones como reuso de mobiliario, smart grids, reciclaje de residuos urbanos, plataformas digitales comunitarias, sistemas circulares en residuos de construcción o demolición. Por tanto, todos son “ítems B”.

**Tabla 1: Ítems de las definiciones de EC y relaciones entre ellos.**

ECONOMÍA CIRCULAR: ÍTEMS													
Kirchherr, Reike y Hekkert (2017)	Prieto Sandoval, Jaca y Ormazabal (2018)												
	Sistema económico	No agotamiento de recursos	Bucles energéticos	Bucles materiales	D. sostenible	Nivel micro	Nivel medio	Nivel macro	Innovaciones ambientales	Legislación	Producción	Consumo	ÍTEMS +
Sistema económico	<b>B</b>												
Reducción		<b>B</b>		<b>B</b>									
Reutilización		<b>B</b>		<b>B</b>									
Reciclaje		<b>B</b>		<b>B</b>									
Recuperación		<b>B</b>		<b>B</b>									
Producción										<b>B</b>			
Distribución													<b>+</b>
Consumo												<b>B</b>	
Nivel micro						<b>B</b>							
Nivel medio							<b>B</b>						
Nivel macro								<b>B</b>					
D. sostenible					<b>B</b>								
Calidad ambiental					<b>B</b>								
Prosperidad económica					<b>B</b>								
Equidad social					<b>B</b>								
Negocios responsables										<b>X</b>			
Consumidores responsables												<b>X</b>	
ÍTEMS +			<b>+</b>						<b>+</b>	<b>+</b>			

B= ítem básico; += ítem impulso

**Tabla 2: Ítems de las definiciones o principios de CC y relaciones entre ellos.**

<b>CIUDAD CIRCULAR: ÍTEMS</b>				
Prendeville, Cherim y Bocken (2018)	Petit-Boix y Leipold (2018)			
	Infraestructura	Consumo social	Industrias y negocios	Planeamiento urbano
Regenerar	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
Compartir	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
Optimizar	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
Bucle	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
Virtualización	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>
Intercambiar	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>B</b>

B= ítem básico

De este modo, obtenemos los siguientes “ítems B” e “ítems +” como características para implementar la EC y llegar a ser CC:

- “Ítems B”: sistema económico; no agotamiento de residuos/ reducción, reutilización, reciclaje y recuperación / bucles materiales; producción; consumo; nivel micro, medio y macro; desarrollo sostenible (calidad ambiental, prosperidad económica y equidad social); negocios responsables / producción; consumidores responsables/ consumo; regenerar; compartir / intercambiar; optimizar; virtualización; infraestructura; consumo social; industrias y negocios; planeamiento urbano.
- “Ítems +”: bucles energéticos; innovaciones ambientales; legislación.

### **3.2. Ítems de Economía Circular y Ciudad Circular en los núcleos poblacionales extremeños**

Tras obtener los ítems relativos a EC y CC -tanto los básicos (B), como los que aportan impulso (+)-, realizamos un análisis de aproximación acerca de la posible implementación de dichos ítems en cada una de las categorías de núcleos poblacionales extremeños (tabla 3).

Se obtiene que todos y cada uno de los ítems son aplicables en cada tipo de núcleo, puesto que son ítems genéricos y no son estrategias específicas de actuación. No obstante, son aplicables siempre y cuando la estrategia que se utilice esté adaptada al tipo de núcleo.

**Tabla 3: Ítems B y + y su posible aplicación en los núcleos poblacionales extremeños**

EC Y CC		CATEGORÍAS DE NÚCLEOS Y CARACTERÍSTICAS			
		A +10000 hab. + funciones urbanas	B -1000 / +5000 hab. rurales soporte residencial b.	C 1000 -5000 hab. crecimiento– funciones supralocales	D 1000-5000 hab. + natalidad descenso poblacional
ÍTEMS B	Sistema económico	X	X	X	X
	Reducción, reutilización, reciclaje y recuperación /Bucles materiales	X	X	X	X
	Producción	X	X	X	X
	Consumo	X	X	X	X
	Nivel micro, medio y macro	X	X	X	X
	Desarrollo sostenible	X	X	X	X
	Negocios responsables / producción	X	X	X	X
	Consumidores responsables/ consumo	X	X	X	X
	Regenerar	X	X	X	X
	Compartir / intercambiar	X	X	X	X
	Optimizar	X	X	X	X
	Virtualización	X	X	X	X
	Infraestructura	X	X	X	X
	Consumo social	X	X	X	X
	Industrias y negocios	X	X	X	X
	Planeamiento urbano	X	X	X	X
ÍTEMS +	Bucles energéticos	X	X	X	X
	Innovaciones ambientales	X	X	X	X
	Legislación	X	X	X	X

Tomando como ejemplo el “ítem B” de infraestructura y desarrollando una estrategia de movilidad, no podría aplicarse de la misma manera en una categoría A de más de 10000 habitantes y con más funciones urbanas que una B de menos de 1000 habitantes y de tipo rural. En el primer caso podría ser prioritario implementar una estrategia de movilidad urbana eficiente y de baja contaminación del aire, mientras que en el segundo caso la calidad del aire podría ser mejor pero habría que incidir en una estrategia de movilidad interurbana para facilitar el acceso laboral en otras localidades y evitar la despoblación de los núcleos rurales.

Al mismo tiempo, si seleccionamos un “ítem +” como el de bucles energéticos, podrían establecerse estrategias para cada tipo de núcleo en función de su contexto. En el caso de un núcleo tipo D con 1000-5000 habitantes y con una natalidad más elevada, podría establecerse una estrategia de bucles energéticos entre los dotacionales educativos y los residenciales permitiendo un flujo de energía generado por energía fotovoltaica entre ellos, permitiendo al dotacional educativo autoabastecerse de energía al mismo tiempo que consigue ingresos para soportar sus actividades. Sin embargo, si queremos establecer una estrategia de bucles energéticos en un núcleo tipo B de menos de 1000 habitantes y de carácter rural, podría ser más interesante aplicar ese flujo de energía entre la masa residencial y la zona de trabajo agroganadera, aprovechando excedentes de energía de uno a otro lado.

## **CONCLUSIONES**

El concepto de EC desde la perspectiva macro de la ciudad pasa por entender sus propias características y las específicas del concepto de CC vinculadas a la realidad de las poblaciones. Los ítems obtenidos como características a implementar de la EC y CC son en su mayoría comunes entre las definiciones de EC y CC estudiadas, salvo por algunos considerados como “ítems +”. La aparición de estos “ítems +” diferenciadores entre definiciones podría deberse al mismo auge en el que se encuentra el concepto de EC, el cual favorece que su definición esté constantemente actualizándose y revisándose, incluso en periodos tan cortos de tiempo como un año.

Aunque se suele generalizar hacia la implementación de la EC en grandes zonas urbanas, este hecho podría estar incentivado por las previsiones de crecimiento urbano a nivel mundial y los problemas de recursos que ello. No obstante, se ha podido comprobar cómo las características propias de los conceptos actualizados de EC y CC no sólo pueden aplicarse en grandes contextos urbanos, sino que podrían implementarse en los distintos tipos de núcleos poblacionales extremeños. Contextos que tienen identidades tanto urbanas como rurales, y además de variados tamaños.

No obstante, aunque a nivel de implementación del concepto no haya diferencia entre tipos de núcleos poblacionales, sí podría haberlo en cuanto a los tipos de estrategia que quisieran aplicarse. En consecuencia, las estrategias asociadas a cada ítem de EC y de CC deben extrapolarse para adaptarlos a la realidad y el contexto de cada núcleo poblacional para ser válidas.

Este hecho además favorece tanto la Declaración de Quito (Asamblea General. Naciones Unidas, 2016) como la Agenda Urbana Española (Ministerio de Fomento. Gobierno de España, 2019), las cuales ponen su acento en el desarrollo sostenible de todo tipo de poblaciones y asentamientos humanos.

## Agradecimientos

Esta comunicación ha sido posible gracias a la financiación de la Junta de Extremadura y el Fondo Social Europeo a través de una ayuda para financiación de contratos predoctorales para formación de doctores en los centros públicos de I+D pertenecientes al Sistema Extremeño de Ciencia, Tecnología e Innovación (PD16031).

## REFERENCIAS

Asamblea General. Naciones Unidas. (2016). Resolución aprobada por la Asamblea General el 23 de diciembre de 2016. 71/256. Nueva Agenda Urbana.

Comisión Europea. (2014). *Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta*. doi: doi:10.2779/57545.

Comisión Europea. (2015). *COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular*.

Consejería de Medio Ambiente y Rural, Políticas Agrarias y Territorio. Junta de Extremadura. (2015). *Directrices de Ordenación Territorial de Extremadura. Fase I. Síntesis de la información y diagnóstico inicial*.

EMF. (2015). *Delivering the Circular Economy: A Toolkit for Policymakers*, Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>.

Kirchherr, J., Reike, D. and Hekkert, M. (2017). 'Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions', *Resources, Conservation and Recycling*, 127, pp. 221–232. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005.

Ministerio de Fomento. Gobierno de España. (2019). *Agenda Urbana Española 2019*.

Panel Internacional de Recursos. ONU Medio Ambiente. (2018). *El peso de las ciudades*.

Petit-Boix, A., Leipold, S. (2018). 'Circular economy in cities: Reviewing how environmental research aligns with local practices', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 195, 1270-1281. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.281

Prendeville, S., Cherim, E., Bocken, N. (2018). 'Circular Cities: Mapping Six Cities in Transition', *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Elsevier Ltd, 26, pp. 171–194. doi: 10.1016/j.eist.2017.03.002.

Prieto Sandoval, V., Jaca, C., Ormazabal, M. (2018). 'Towards a consensus on the circular economy', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 179, pp. 605-615. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.224.

Qian, G., Wang, C. (2016). *Circular Economy Cities*. Springer, Berlin, Heidelberg. doi:10.1007/978-3-662-48153-0\_6.

Zhijun, F., Nailing, Y. (2007). Putting a circular economy into practice in China. *Sustain. Sci.* 2, 95-101. <https://doi.org/10.1007/s11625-006-0018-1>

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Inmaculada Bote Alonso

Teléfono: 927251600

E-mail: [ibotealonso@unex.es](mailto:ibotealonso@unex.es)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Juan A. Martínez  
*Odin Solutions*  
Rafael Álvarez,  
Pedro de Grado  
*Ayuntamiento de Logroño*  
J. Arturo Ortiz  
*Riversa*  
Pedro González  
Antonio Skarmeta  
*Universidad de Murcia*

## **EFICIENCIA HIDROENERGÉTICA E INTEGRACIÓN DE EQUIPOS DE RIEGO URBANOS DE TODA UNA CIUDAD**

### **Resumen**

En la última década hemos sido testigos de los efectos del cambio climático en nuestro planeta, representados, entre otros, por el incremento de la temperatura así como la reducción en la disponibilidad de recursos hídricos. Numerosos esfuerzos se llevan a cabo con la intención de mitigar los efectos y tratar de corregir la tendencia del cambio climático. Desde las ciudades, uno de los aspectos en los que se puede trabajar para mitigar y corregirlo, es el manejo eficiente de los recursos hídricos en el riego de zonas verdes. En este documento proponemos un sistema tecnológico que ofrece grandes avances en la gestión de recursos hídricos, permitiendo un mayor ahorro de agua y energía en el riego de zonas verdes de la ciudad. Para ello, dicho sistema ofrece una solución global capaz de comunicarse con dispositivos existentes, gestionándolos y mostrándolos en un sistema único de telegestión (SCADA), resolviendo la problemática de la integración y adaptación al paradigma "Smart City", del creciente ecosistema de soluciones tecnológicas y lenguajes propietarios impuestos por los diversos fabricantes de soluciones para el riego. Como muestran los resultados de la aplicación de nuestro sistema en el caso de uso de la ciudad de Logroño, presentado en este documento, es posible conseguir notables mejoras en la utilización del agua y la energía, además de incorporar la gestión del agua de riego de zonas verdes en el macro-entorno de la Smart City.

### **Resumen en Inglés**

In the last decade, we have witnessed the effects of climate change on our planet, represented, among others, by the increase in temperature as well as the reduction in the availability of water resources. Numerous efforts are carried out with the intention of mitigating the effects and trying to correct the trend of climate change. From the cities perspective, one of the aspects in which one can work to mitigate and correct this tendency is the efficient management of water resources in the irrigation of green areas. For this reason, our proposed solution consists of a system that offers excellent advances in the management of water resources, allowing a more significant saving of water and energy in the irrigation of green areas of the city. To do so, our proposal offers a global solution capable of communicating with existing devices, managing them and showing them in a single remote management system (SCADA), solving the problem of integration and adaptation to the "Smart City" paradigm of the growing ecosystem of devices and proprietary languages imposed by the various manufacturers of solutions for irrigation. As shown by the results of the application of our system for the case of the city of Logroño, presented in this document, it is possible to achieve

notable improvements in water and energy usage, as well as incorporating water management for irrigation of green areas in the macro-environment of the Smart City

**Palabras clave:** *smart city; integral; TIC; eficiencia; telegestión; riego inteligente;*

**Key words:** *smart city; holistic; ICT; efficiency; Smart irrigation*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles del espacio urbano*

## 1. Introducción

Aunque las primeras muestras de preocupación científica respecto al cambio climático y más concretamente a sus causas antropogénicas, pueden trazarse hasta principios del siglo XX, no fue hasta los 90 se comenzase a extender y generalizar la preocupación en la comunidad científica en este respecto. El comienzo del siglo XXI ha visto las primeras iniciativas globales para tratar de abordar el problema y sus causas originarias, en forma de acuerdos, comités y diversas organizaciones. En la última década hemos sido testigos de los efectos del cambio climático en nuestro planeta, representados, entre otros, por el incremento de la temperatura así como la reducción en la disponibilidad de recursos hídricos y un endurecimiento del clima, especialmente perceptible en algunas áreas del planeta, que se vuelven cada vez más extremas.

Uno de los factores humanos que más impacto ha tenido sobre dicho cambio, es la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, como resultado de la intensa y omnipresente actividad industrial, así como el ataque continuado a las zonas verdes del planeta, principales responsables de la captura de CO<sub>2</sub> atmosférico.

Entre los cursos de acción que se establecen con amplio consenso por la comunidad científica, se proponen el ahorro energético y la mejora de la eficiencia en el uso de los recursos, como claves a la hora de mitigar los efectos del cambio climático, así como aliviar algunos de los factores que cooperan en el endurecimiento del mismo.

Así mismo, como consecuencia del uso extensivo de las TIC<sup>1</sup> y la aplicación del concepto de economía circular, se está consiguiendo como resultado una reducción en las emisiones de GHG<sup>2</sup> (y en la huella de carbono), así como en el consumo energético e hídrico. Nuevos paradigmas tecnológicos como el IoT<sup>3</sup> abren la puerta a una gestión eficiente y sostenible, obteniendo información y actuando de una forma mucho más local, eficiente y rápida, en un amplio abanico de campos de aplicación. En el caso de las ciudades, las iniciativas “Smart City” (o Ciudad Inteligente) persiguen, entre otros, los objetivos de mejora en la gestión de los recursos, incremento de la seguridad y el confort de los ciudadanos, así como la reducción del impacto energético y la mejora en la eficiencia y sostenibilidad en el uso de recursos, a través del uso de las tecnologías anteriormente mencionadas.

El escenario concreto que nos ocupa en este trabajo, es el del riego de zonas verdes en ciudades, centrándonos en la optimización del uso del agua y la energía, a través de la integración de soluciones tecnológicas existentes para el riego, en el macro-proyecto de la Smart City. La búsqueda de soluciones para la mejora de la eficiencia en el uso de los recursos hídricos y energéticos, en este caso, es doblemente justificada dado el constante incremento

---

<sup>1</sup> TIC: Tecnologías para la Información y las Comunicaciones.

<sup>2</sup> GHG: de las siglas en inglés “Greenhouse Gases” o “Gases de efecto invernadero”.

<sup>3</sup> IoT: de las siglas en inglés “Internet of Things” o “Internet de las cosas”.

de la población, su paulatina migración a las ciudades y la consiguiente expansión de las mismas, que a su vez incrementa la cantidad de zonas verdes así como sus necesidades.

Para analizar con las necesidades hídricas de las zonas verdes, no solo ahora, sino en el futuro, debemos atender a varios factores que tienen peso a la hora de establecer un plan de riego de una zona verde. Dos factores especialmente relevantes a tener cuenta son la evapotranspiración y la pluviometría, estos dictan cuales van a ser las pérdidas de agua por evaporación y transpiración, así como el aporte de agua por lluvia. En un segundo plano (al tratarse de condiciones impuestas), tenemos las características del jardín: especies vegetales, densidad, microclima, tamaño, exposición, tipo de suelo, orientación y orografía entre otros, que terminan de definir las necesidades concretas de nuestras zonas verdes.

Por último, atendemos a los informes desarrollados por el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), en concreto el informe nº 5, que expone los siguientes datos con respecto a las previsiones de aumento de temperatura:

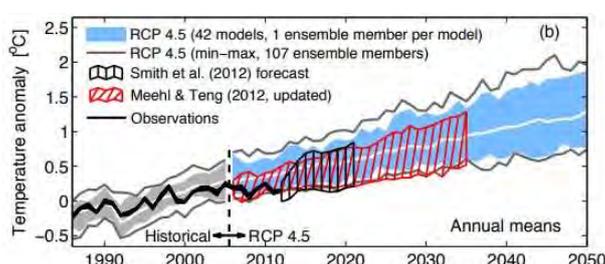


Figura 1. Previsión de aumento de temperaturas en los próximos 30 años (IPCC, 2013).

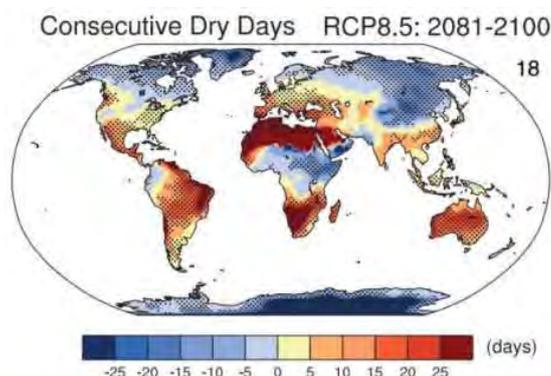


Figura 2. Previsión de aumento de días secos consecutivos para los años 2081-2100 (IPCC, 2013).

A raíz de la Figura 1, en la que se ha utilizado el escenario RCP 4.5 (Representative Concentration Pathways con un Forzamiento Radiativo de  $4.5 \text{ W/m}^2$ ) se desprende que la tendencia de las temperaturas será a aumentar en los próximos años, lo que a su vez forzarán un incremento en las necesidades hídricas de las zonas verdes.

Además, el IPCC afirma en su quinto informe, que el ciclo del agua se intensificará en climas más templados (con el aumento de la temperatura), significando que el calentamiento

climático no implicará necesariamente<sup>4</sup> una reducción en las precipitaciones, sino que los climas tenderán a ser más variables, o incluso llegar a ser extremos. Analizando la tendencia mostrada en la Figura 2 veremos que con el escenario más pesimista (RCP 8.5) el incremento en el número de días secos<sup>5</sup> consecutivos (relativos al periodo 1981-2000) podrán aumentar entre 10 y más de 25 en el territorio de la Península Ibérica.

Estos datos no hacen sino reforzar la idea de que la gestión coherentemente el agua es imprescindible para poder hacer frente a las necesidades futuras de nuestras ciudades, cimentando el objetivo del proyecto SMART RAIN y dándole justificación y objetivo.

## **2. Objetivos**

Como ya se ha comentado en el apartado de Introducción, el objetivo final de nuestro trabajo es la mejora en la gestión y uso de los recursos hídricos y la eficiencia energética en el riego de zonas verdes en ciudades.

Además, se plantea como objetivo la reutilización de tecnología existente, evitando el reemplazo de equipos e instalaciones ya existentes en la ciudad, que no solo conllevaría el descarte de recursos tecnológicos si no los costes añadidos de sustitución e instalación de nuevos elementos, resultando en una solución más sostenible, eficiente y amable con el medio ambiente.

Por último, planteamos como objetivo la integración de estas tecnologías en el macro-proyecto de las Smart Cities, desde el cual se pretende hacer una gestión holística de los recursos de la ciudad, permitiendo la participación de sus ciudadanos y terceras partes, abriendo un sinfín de nuevas oportunidades para la mejora en la eficiencia y gestión de recursos, habilitando la búsqueda de sinergias, confluencias e interacciones de otra forma inviables.

La metodología para la consecución de estos objetivos es desarrollada en el siguiente apartado, Metodología. Posteriormente ilustramos en detalle la aplicación de la metodología descrita, mediante dos casos de uso en el ámbito del proyecto SMART RAIN, para la ciudad de Logroño, donde obtenemos resultados y respaldo empírico para los siguientes apartados de Resultados y Conclusiones.

## **3. Metodología**

El diseño de la solución se basa en desplegar aquellos elementos mínimos necesarios para habilitar el uso eficiente de los recursos hídricos y energéticos, reusando al máximo las actuales infraestructuras y equipos de riego.

Entre los elementos necesarios para llevar a cabo nuestros objetivos, se encontrarán sensores y actuadores así como elementos hardware de computación e interconexión de redes y finalmente terceras partes, como servicios de meteorología que permitan la consulta telemática de los partes meteorológicos y predicciones locales.

El diseño de la solución supone estudiar las necesidades de las especies a irrigar en las distintas zonas verdes, así como las particularidades de las condiciones del terreno, que afectarán a las necesidades hídricas. Para ello se elaboran inventarios de especies, planos de situación, estudios meteorológicos y climáticos, estudios del terreno y finalmente inventarios de material de riego existente.

---

<sup>4</sup> Los datos son imprecisos a medio-largo plazo, debido a la dificultad de realizar modelos climáticos de variación de pluviometría en estos intervalos prolongados de tiempo y a la confluencia de un gran número de factores climáticos.

<sup>5</sup> Definidos como días con menos de 1mm de precipitaciones

En base a dicha información se realizarán propuestas y posteriores implementaciones de dispositivos y adaptadores para realizar el riego de precisión. Paralelamente se diseñan algoritmos de riego específico para las particularidades de cada zona, nutridos con información de sensores, estaciones meteorológicas propias y datos y previsiones meteorológicas de servicios externos. Finalmente se establecen planes de riego dimensionados a la superficie, especies, meteorología estacional (en base a las distintas épocas del año) y demás necesidades de las distintas zonas de riego.

En el siguiente apartado ilustramos dos casos de uso basados en el proyecto SMART RAIN desarrollado en la ciudad de Logroño, donde se ha aplicado la metodología anteriormente descrita, con resultados positivos de mejora en el uso de recursos hídricos y eficiencia energética.

#### 4. Casos de estudio

##### Smart Rain Logroño Fase I

Durante el año 2013, La D.G. de Medio Ambiente y Eficiencia Energética del Ayuntamiento de Logroño desarrolló como primer proyecto innovador en tecnología de gestión inteligente de servicios urbanos la implantación de las mejores y eficientes técnicas aplicadas a la telegestión de los sistemas de riego de una buena parte de las zonas verdes en la ciudad de Logroño. Estas técnicas innovadoras se fundamentaban en los principios básicos de la Red de Ciudades Inteligentes en la que nos encontramos inmersos: open data, escalabilidad, M2M, accesibilidad y compatibilidad de protocolos, código abierto entre otros aspectos tecnológicos que evitan la obsolescencia tecnológica y el monopolio a las soluciones o dependencia empresarial.

Tras varios años de funcionamiento, los resultados son tremendamente clarificadores en la línea de la eficiencia energética y económica. De tal conclusión se indican las siguientes cifras extraídas de nuestra base de facturación y contabilización energética sobre los 11 jardines en los que se actuó, con una superficie encespedada equivalente a 38 hectáreas.

**Tabla 1. Resumen de las reducciones de uso de recursos con SMART RAIN FASE I.**

AÑO	ENERGÍA kWh/año	IMPORTE ECONÓMICO €/año	VARIACIÓN ANUAL €/año	AGUA RIEGO m <sup>3</sup>	VARIACIÓN ANUAL ORIGEN m <sup>3</sup>
2012	1.594.801	295.017,93	0	778.404	0,00
2013	1.323.457	276.443,38	-18.574,55	624.856	-153.548
2014	1.021.242	231.480,86	-63.537,00	567.165	-211.239
2015	8.233.113	166.943,55	-128.074,38	616.958	-161.446
2016	813.701	183.268,43	-121.748,57	601.235	-147.169
2017	809.338	176.200,37	-118.817,56	607.357	-171.047

##### Smart Rain Logroño Fase II

Tras el éxito de la anterior fase, se propuso ampliar la superficie gestionada hasta cubrir el 80% de los espacios verdes de la ciudad de Logroño, lo que significa un control de 541.286,76 m<sup>2</sup> de espacios verdes. Esta tarea, incluía varios retos a los que había que hacer frente:

- Diferencias entre los programadores de riego utilizados: Los programadores lógicos de riego que se utilizaron para gestionar el riego de las zonas verdes provenían de distintas marcas. Esto implicaba que los lenguajes de comunicación eran tremendamente diferentes.

- Plan de riego personalizado para cada zona: Cada zona verde cuenta con su inventario personalizado de especies, las cuales tienen distintas necesidades hídricas.
- Previsión de lluvias: El programa de riego debe saber si sobre la zona a irrigar se están produciendo precipitaciones y de que magnitud, para modificar sus parámetros de riego en consecuencia. De esta manera se evita que el riego preprogramado se active durante periodos de lluvia.
- Horario de riego: La irrigación debería producirse en las horas en las que no hay sol, ya que se reduce la evapotranspiración de las plantas y permite una mejor irrigación del suelo utilizando menor cantidad de agua.
- Comunicación de los programadores lógicos: comunicación de los distintos programadores lógicos con las pasarelas de datos, que a través de un protocolo GPRS se comunican con el sistema SCADA de control y visualización central.
- Diseño del algoritmo eficiente "Rain City": Para poder establecer un plan de riego eficiente es necesario crear un algoritmo inteligente, ya probado empíricamente, que sea capaz de determinar las necesidades de riego de forma automática.

El diseño de la solución se basa en el uso de las actuales infraestructuras de riego, cambiando los mínimos mecanismos y elementos posibles para reducir costes de implementación.

### **Diseño de un algoritmo PER de riego eficiente**

Para el diseño del algoritmo que permite la irrigación eficiente de las zonas se formula un porcentaje de riego:

$$\% = f(T, p) \cdot F_r \cdot K_{ajuste} \quad (1)$$

Donde:

1. %: Es un porcentaje que se aplica al tiempo de riego estipulado para cada zona. De tal forma que si llueve dicho factor es '0 %', pudiendo superarse el 100% del tiempo de riego si las necesidades de riego así lo requieren.
2.  $f(T, p)$ : El porcentaje es función de:
  - 2.1. La lluvia acumulada en 'x' días anteriores, donde 'x' depende de la temperatura media en 5 días, en valores tabulados.
  - 2.2. En función de los 'x' días de lluvia acumulada se le asigna el % estimado.
3.  $F_r$  es un factor que depende de la velocidad media del viento medida en 5 días.
4.  $K_{ajuste}$  es un factor ponderativo, que se aplica según criterio del responsable de riego, pudiendo minorar o mayorar el % de riego.

Los valores tabulados para cada variable de la función están recogidos en las siguientes tablas:

**Tabla 2. Valores tabulados para el cálculo del % de riego.**

$T^a$	Días	V	$F_r$	P	%
$\leq 3$	7	$0 \leq v \leq 1$	0,92	$0 \leq P \leq 1$	100
$3 < T^a \leq 7$	6	$1 < v \leq 4$	0,94	$1 < P \leq 5$	95
$7 < T^a \leq 12$	5	$4 < v \leq 15$	0,96	$5 < P \leq 10$	85
$12 < T^a \leq 16$	4	$15 < v \leq 30$	0,98	$10 < P \leq 20$	75
$16 < T^a \leq 20$	3	$30 < v$	1	$20 < P \leq 30$	60
$16 < T^a \leq 20$	2	-	-	$30 < P$	0
$26 < T^a$	1	-	-	-	-

Para cubrir todas las áreas de riego en la ciudad se disponen de 5 Equipos Concentradores de Riego (ECR) de 1,1 Km de radio, distribuidos por toda la ciudad, que se conectaran de maneras diversas a las electroválvulas de riego. Según la casuística de cada zona se distinguen principalmente dos maneras de comunicación con las electroválvulas:

- A través de líneas de decodificadores conectadas mediante cable a la estación satélite.
- A través de dos conexiones RS485, que conectaran con dos tipos de receptores a su vez a través de una antena HF de media onda:
  - Equipo remoto receptor a batería en arqueta, que controla 2 estaciones de solenoide tipo Latch.
  - Equipo remoto receptor a 220V que controla de 4 a 6 estaciones de solenoide tipo Latch.

Por su parte el satélite que comanda las zonas de riego usara conector RS232<sup>6</sup> para comunicarse con la pasarela de datos IPex04<sup>7</sup>, para pasar al protocolo de comunicación ModBus/TCP<sup>8</sup>, y este a su vez conectar con el modem, que vía GPRS<sup>9</sup> conectara con el PC. El esquema completo se describe en la siguiente figura:



Figura 3. Esquema de conexiones de solución Smart Rain II.

Para cubrir todas las áreas de riego en la ciudad se disponen de 5 Equipos Concentradores de Riego (ECR) de 1,1 Km de radio, distribuidos por toda la ciudad, que se conectaran de maneras diversas a las electroválvulas de riego

<sup>6</sup> RS232 – Interfaz que designa una norma para el intercambio de datos entre un equipo de comunicación de datos (módem) y un equipo terminal de datos (computadora).

<sup>7</sup> IPex04 – Equipo electrónico que controla y registra datos en el tiempo, con el que se pueden comunicar módem y satélite.

<sup>8</sup> Modbus/TCP – Protocolo de comunicaciones para puerto serie y Ethernet.

<sup>9</sup> GPRS – General Packet Radio Service. Sistema que permite mandar y recibir paquetes de datos usando la red de telefonía por satélite.

Como se aprecia en el gráfico, a través del sistema Scada podemos establecer una conexión bidireccional vía GPRS con el satélite de zona. Este, a su vez, puede establecer la comunicación con los tres tipos de dispositivo a integrar en los jardines.

### **Conexión con los programadores de riego ya instalados en las zonas verdes (Hunter, Irritrol, Rainbird, etc.)**

Para llevar a cabo esta tarea, se dispondrán en los armarios eléctricos, que alojan los equipos de riego, un equipo remoto a batería, que hará de interruptor inalámbrico sobre los programadores de riego. Así, por ejemplo para un programador Hunter, la conexión se haría de este modo:

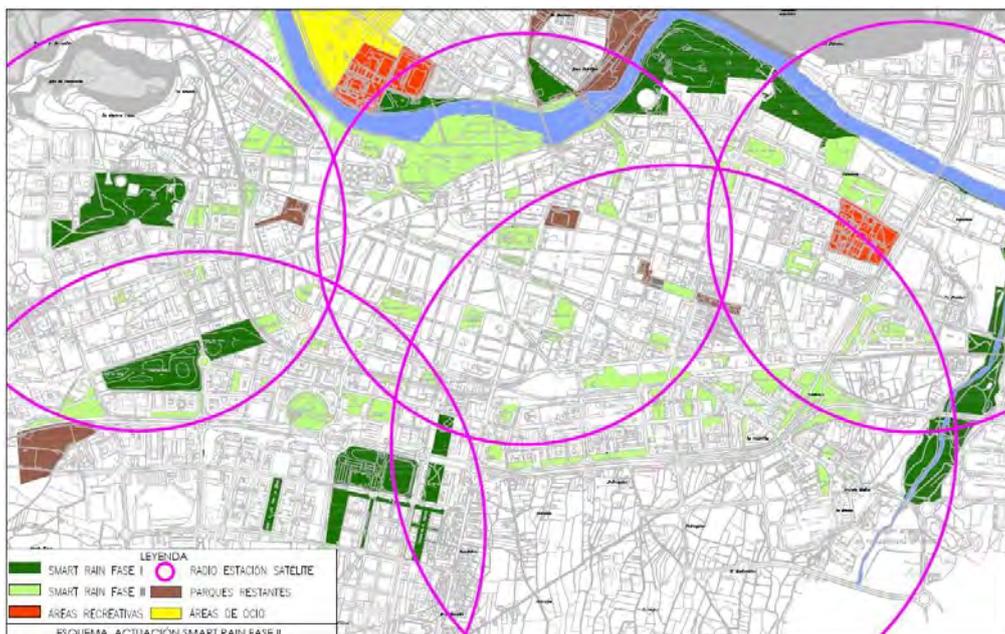


**Figura 4. Esquema de conexión del conmutador inalámbrico a los programadores antiguos de riego.**

Este receptor inalámbrico se comandará con uno de los 5 ECR de zona y su comunicación por Radio Frecuencia. Estos satélites se dispondrán de manera que se incluya el número mínimo de ellos, cubriendo el máximo área posible.

Al reutilizar los equipos de riego existentes, se presentan unas limitaciones sobre las actuaciones posibles que se pueden llevar a cabo sobre los programadores, realizando un control discreto con una programación de riego fija. Sin embargo, no hay necesidad de controlar más variables puesto que los programadores ya tienen todos los programas de riego instalados y optimizados. Por no hablar del tamaño de la inversión que habría que realizar si hubiera que cambiar todos los programadores de riego en una ciudad.

En el siguiente grafico se muestran las zonas verdes a gestionar:



**Figura 5. Mapa de zonas verdes de ambas fases y los radios de cobertura de las estaciones satélite de zona.**

La cobertura sobre la ciudad es casi total, habiendo aun zonas que deberán ser tenidas en cuenta para una fase posterior. Los radios de acción de las estaciones satélite abarcan desde los 1,1 Km hasta los 1,5 Km para evitar problemas de cobertura.

## 5. Resultados

Tras la instalación de los dispositivos satélite y los elementos receptores de información (inalámbricos y cableados) se ha procedido a la incorporación de todos los elementos en un sistema conjunto de visualización y control (plataforma de riego) que permitirá monitorizar todas las áreas implementadas. De esta manera el sistema permitirá, entre otras funcionalidades:

1. Determinar los programas de riego necesarios para ajustarse a la carga hídrica necesaria de cada jardín.
2. Determinar si está lloviendo sobre la zona, para evitar activar el sistema de riego.
3. Realizar modificaciones sobre los programas de riego si se dan períodos largos de sequía:
  - a. modificaciones automáticas en los nuevos equipos conectados al sistema.
  - b. modificación manual en los equipos existentes con receptor remoto conectado.
4. Localizar los posibles fallos electroválvulas o remotos, en caso de que los haya. Dado que los receptores están georreferenciados.

Todo esto se traduce en un ahorro consistente de agua y electricidad, de acuerdo con los objetivos previstos.

El software que se utilizará para gestionar las zonas está hecho a medida de las necesidades del Ayuntamiento:

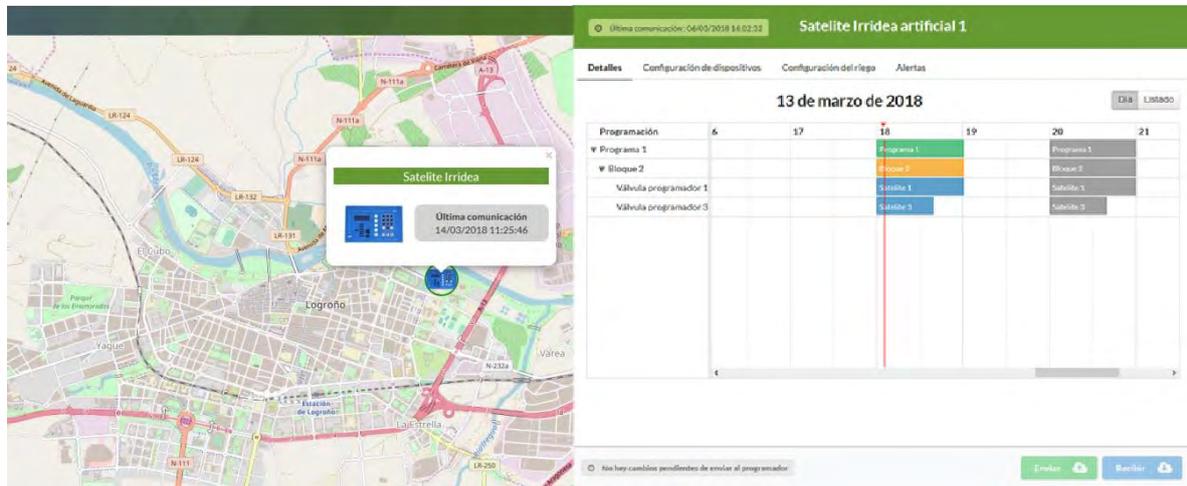


Figura 6 Capturas de pantalla de la interfaz para el proyecto Smart Rain Logroño Fase II.

## CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos en ambos casos de uso, podemos esperar un ahorro de más de 300.000 m<sup>3</sup> de agua y unos 750.000 kWh en electricidad, cumpliendo los objetivos previstos en cuanto a aumento de la eficiencia energética, así como de disminución en el uso de recursos hídricos. Además, la solución desarrollada contempla la integración del sistema de riego inteligente en plataformas Smart City, por lo que podemos concluir que los trabajos realizados cumplen con todos los objetivos propuestos al comienzo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- Hunter Industries. (2018). *Hunter Industries*. Obtenido de [https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/OM\\_ACC\\_SP.pdf](https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/OM_ACC_SP.pdf)
- IPCC. (2013). *Climate Change*. Obtenido de [http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5\\_ALL\\_FINAL.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf)
- Riversa. (2017). *Catalogo riego*. Obtenido de [http://riversa.es/images/Cat%C3%A1logo\\_Riego\\_2017\\_Ir.pdf](http://riversa.es/images/Cat%C3%A1logo_Riego_2017_Ir.pdf)
- Riversa. (2018). *Receptores de control de válvulas*. Obtenido de <http://riversa.es/jardineria/riegos333/riego-municipal/soluciones-control-valvulas-remotas/receptores.html>

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: Juan A. Martinez

Teléfono: 902 570 121

E-mail: [jamartinez@odins.es](mailto:jamartinez@odins.es)

**Agradecimientos**

Los autores del presente documento desean expresar su agradecimiento a todos los socios del proyecto financiado por el Ayuntamiento de Logroño. Agradecimientos también a UMU, OdinS y RIVERSA por los trabajos realizados

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



María Dolores Donaire  
Rafael Hernández  
Elena Turrado  
*Universidad Camilo José Cela*

## **ENERGÍA CERCANA**

### **Resumen**

Entrar en contacto cada vez es más inmaterial. Estar atento a las señales hace permeable la comunicación. En una piel sensible se emiten y reciben mensajes que interconectan individualidades. La energía circula por su extensión hasta que se absorbe en el punto exacto.

Un mar de fondo agitado o sereno según la cantidad de irregularidades de su superficie, es un manto heterogéneo donde se entremezclan energías.

Descubrir el secreto que rige la red recuerda a la filosofía del ritual tántrico explicada por Shiva. Un saber milenario que maneja la energía del individuo para alcanzar el éxtasis y prolongarlo. Captar la energía y prolongar su consumo hasta alcanzar el punto de retorno.

El proyecto PielSen, *pieles sensibles*, trata sobre el diseño de la envolvente de edificios que reacciona ante las condiciones medioambientales de su entorno.

Los fundamentos teóricos base de la investigación sobre esta envolvente parte del estudio del funcionamiento de la piel humana que, a través de sensores distribuidos por las diferentes fachadas, incluida la cubierta, el edificio se adapta a las circunstancias temporales establecidas. Además, se tienen en cuenta otros fundamentos teóricos necesarios y complementarios como son los relacionados con estructuras flexibles y eficientes. Dichos textos, de base científica, van nutriendo el proyecto, y definiendo cada vez más sus objetivos en cuanto al diseño.

Las capacidades básicas desarrolladas por PielSen, conducen al despertar de la energía óptima para el pleno funcionamiento del edificio.

Estas fuerzas se ven reflejadas en su dinamismo y su capacidad de movimiento en respuesta a los estímulos, haciendo crecer energéticamente no solo al propio edificio, sino al concepto de edificación, desbloqueando ataduras convencionales. Sin partir de miedos o prejuicios.

La energía en la piel no circula unidireccionalmente, está en la superficie y no se dirige por cables. Como en la filosofía tántrica, no hay superioridad de un elemento sobre el otro, es un permanente intercambio, y no hace distinción entre lo puro y lo impuro, la belleza y la fealdad, el bien y el mal. En una multipolaridad, enriquecida la concepción taoísta, en la que los elementos se reequilibran para configurar el proceso.

Esto nos recuerda, además, a la corriente Neotántrica. En sistema y funcionamiento de esta piel envolvente intervienen elementos tradicionales estructurales en edificación y construcción que empiezan a convivir con la introducción de la tecnología aplicada a las nuevas formas de producción de energía. Esta simbiosis se ve reflejada en la interacción de los elementos involucrados, relacionándose y beneficiándose mutuamente entre ellos, "Mutualismo".

## Resumen en Inglés

To get in touch each time is more immaterial. Being alert to signals makes communication permeable. In a sensitive skin, messages that interconnect individualities are emitted and received. The energy circulates through its extension until it is absorbed at the exact point.

A sea of agitated or serene bottom according to the amount of irregularities of its surface, is a heterogeneous mantle where energies intermingle.

Discovering the secret that governs the network recalls the philosophy of the Tantric ritual explained by Shiva. A millenarian knowledge that manages the energy of the individual to reach ecstasy and prolong it. Capture the energy and prolong its consumption until reaching the point of return.

The PielSen project, sensitive skins, deals with the design of the building envelope that reacts to the environmental conditions of its surroundings.

The basic theoretical foundations of the research on this envelope part of the study of the functioning of the human skin that, through sensors distributed by the different facades, including the roof, the building adapts to the established temporal circumstances. In addition, other necessary and complementary theoretical foundations are taken into account, such as those related to flexible and efficient structures. These texts, based on science, are nurturing the project, and increasingly defining its objectives in terms of design.

The basic capabilities developed by PielSen, lead to the awakening of the optimal energy for the full operation of the building.

These forces are reflected in its dynamism and its ability to move in response to stimuli, making energetically grow not only the building itself, but the concept of building, unlocking conventional ties. Without starting from fears or prejudices.

The energy in the skin does not circulate unidirectionally, it is on the surface and is not directed by wires. As in Tantric philosophy, there is no superiority of one element over the other, it is a permanent exchange, and it does not distinguish between pure and impure, beauty and ugliness, good and evil. In a multi-polarity, the Taoist conception is enriched, in which the elements are rebalanced to configure the process.

This also reminds us of the Neotantric current. In the system and functioning of this enveloping skin, traditional structural elements are involved in construction and construction that begin to coexist with the introduction of technology applied to new forms of energy production. This symbiosis is reflected in the interaction of the elements involved, interacting and mutually benefiting each other, "Mutualism".

**Palabras clave:** *piel; energía; tantra; eficiencia; tecnología; innovación*

**Área temática:** *Ciclo de vida de la ciudad y sus construcciones / Actuaciones sostenibles en la edificación*

## 1. Introducción

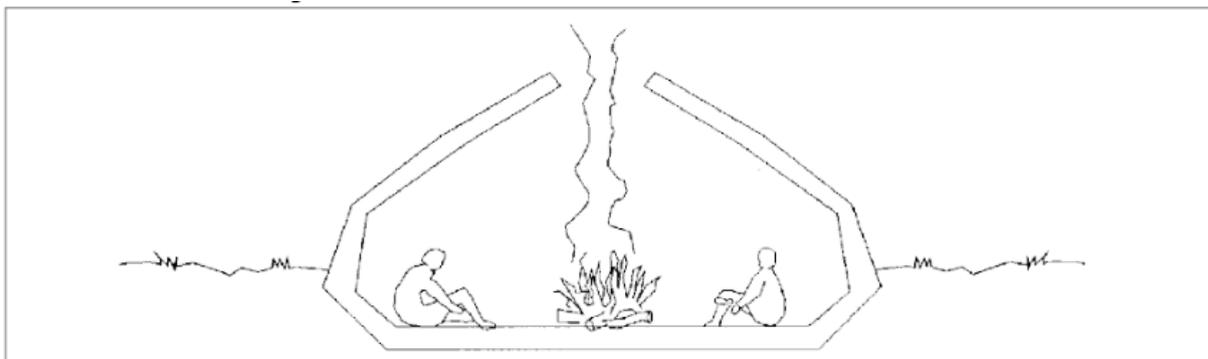
Hoy el desarrollo sostenible se ha convertido en el eje clave para la ordenación territorial, la política y la gestión de los recursos y del espacio urbano. El término tiene la ventaja de establecer rápidamente un consenso de partida para todos, pero esta primera ventaja, enseguida se vuelve desventaja, ya que son muy diferentes las vías para lograr un desarrollo sostenible entre grupos sociales, políticos, profesionales y de expertos. Naredo expone que “desarrollo sostenible es un oxímoron” (Naredo 1996, Rueda 2005) ya que son vocablos contradictorios, dado que la palabra sostenibilidad está ligada a la idea de reducir la presión sobre los sistemas del soporte y el desarrollo implica precisamente lo contrario. Sus aportaciones de denominarlo “ecodesarrollo” no han fructificado. (Higueras, 2013).

El hombre ha aprendido a protegerse individualmente. Con el hombre de Cromagnon surgen los primeros sistemas de control ambiental más primarios. Construyen sus primeros refugios fuera de cavernas para vivir en chozas, llevándolo al dominio y control del fuego. Figura. Ahí es el momento en el que el hombre dispone de dos tipos de control ambiental, el estructural y el energético. Desde esas últimas etapas del Paleolítico el ser humano va refinando los aspectos principales de su vida y la vivienda. Se va centrando en proporcionar mayor estabilidad. Aparece un nuevo esquema de vivienda para resolver estas necesidades. (Serra Florensa, R., Coch Roura, H. 2004)

Figura 1: El refugio elemental



Figura 2: Esquema básico de hábitat primitivo



Con la inversión de la tecnología en nuestras vidas, entrar en contacto cada vez es más inmaterial. Al aumentar la sensibilidad de la percepción sensorial se aumentan los puntos de contacto. Estar atento a las señales hace permeable la comunicación. Los edificios, la

arquitectura, la construcción...también están manifestando un cambio por la presencia de la tecnología. PielSen es una reinterpretación de la sensibilidad sensorial de la piel en superficie, un concepto experimental de acoplamiento entre naturaleza y tecnología, aplicado al mundo actual, que sigue evolucionando a gran velocidad, y que facilita entender lo imaginado.

PielSen, Pieles Sensibles, estudia el comportamiento de la piel humana que interpreta y utiliza para el diseño de una envolvente inteligente en los edificios.

## 2. La piel

*La piel es el mayor órgano del cuerpo. Actúa como **barrera protectora** que aísla al organismo del medio que lo rodea, protegiéndolo y contribuyendo a mantener íntegras sus estructuras, al tiempo **que actúa como sistema de comunicación con el entorno.*** (Galiano, Hernández, Turrado, 2017)

La nueva piel propuesta difumina las fronteras físicas mediante acciones de intercambio, dejando atrás la concepción hermética de los edificios aislados del medio, biosferas artificiales que se aíslan de los entornos. Por otra parte, la energía del interior y del exterior conjugan verbos multisensibles, transferencias y migraciones, en un equilibrio adaptativo y progresivo.

En el apasionante desarrollo de la piel sensible como envolventes para edificios, existe una conectividad subyacente. Alimentada por las energías latentes en el edificio (electrostática, magnética,...) y otras energías renovables, las vitaminas de amplio espectro, son suministradas de manera más certera en diferentes zonas de la superficie.

En la nueva manera de concebir los edificios, la mentalidad biológica facilita el entendimiento natural de las interconexiones. En la propia piel se insertan multicerebros interconectados de alcance regulable, que gobiernan las reacciones a los estímulos exteriores.

Un desarrollo teórico de aproximación a la Bioconectividad no sólo se basa en conexiones para telecomunicaciones, sino que tiene en cuenta el medio que transporta las comunicaciones a frecuencias determinadas, la piel y sus teselas, que se componen de micas, mínima unidad considerada del sistema.

La aplicación de la “ intuición + compleja”, como metodología investigadora basada en la investigación operativa, conduce a localizar el modelo natural que funciona de manera semejante al fenómeno intuido. Para aplicar la bioconectividad a algo inerte hay que dar vida a los edificios, canalizar su energía y dotarles de sensibilidad. Esto podemos clasificarlo en tipos de reacciones en función de los parámetros que encontramos en la Tabla 1 (Serra Florensa, R., Coch Roura, H. 2004)

**Tabla 1: Parámetros de estructura del espacio** (relacionados con el diseño)

ASPECTOS	VARIACION	ESTRUCTURA ESPACIAL	
Posición	centro	ambiente organizado alrededor de la fuente	
	contorno	ambiente definido por su contorno o límite	
Concentración	centrípeto	espacio que se concentra por la acción ambiental	
	centrífugo	espacio que se expande por la acción ambiental	
Direccionalidad	circulación	el ambiente favorece el movimiento en un sentido	
	barrera	el ambiente dificulta el movimiento en un sentido	
Unidad	global	el efecto ambiental unifica el espacio	
	agregado	el efecto ambiental compartimenta el espacio	
Apariencia	aparente	el origen del efecto ambiental es apreciable	
	oculto	queda escondido el origen del efecto ambiental	
Control	regulable	el usuario puede cambiar el efecto ambiental	
	fijo	no se puede actuar sobre el efecto ambiental	
Estabilidad	constante	constante en el tiempo	
	variable	variable en el tiempo	

Existen multitud de intercambios interconectados que pueden ser dirigidos desde el mecanismo tecnológico de la piel. El agua de lluvia o el sol más cálido es recepcionado por la piel y provoca diversas interconexiones combinadas que regulan el funcionamiento de la membrana para adaptarse a las condiciones de bienestar. El edificio pasa a formar parte del medio y la frontera protectora también se flexibiliza en su comportamiento (Hernández, Turrado, Donaire, 2018)

Figura 3: Fotografía de María García Medina, “Unión”



### 3. Corrientes de energía

En una piel sensible como PielSen se emiten y reciben mensajes que interconectan individualidades. La energía circula por su extensión hasta que se absorbe en el punto exacto.

Un mar de fondo agitado o sereno según la cantidad de irregularidades de su superficie, es un manto heterogéneo donde se entremezclan energías.

Descubrir el *secreto* que rige la *red* recuerda a la filosofía del ritual tántrico explicada por Shiva. La práctica consciente potencia la sensibilidad y focaliza toda la energía en una satisfacción mutua. Un saber milenario que maneja la energía del individuo para alcanzar el éxtasis y prolongarlo (*bhoga*). Captar la energía y prolongar su consumo hasta alcanzar el punto de retorno. La piel mediante técnicas electromagnéticas no circula unidireccionalmente, está en la superficie y no se dirige por cables, es *wireless*. Al verter la energía se prolonga el momento, reduciendo la velocidad de la luz, en superficie, hasta alcanzar el instante que el medio devuelve energía que ralentiza la acción, provocando una reacción de la piel que reinicia el proceso hacia el interior. Nanosistemas energéticos que se mecen con *microenergías* de las energías latentes por corrientes submarinas.

Como en la filosofía tántrica, no hay superioridad de un elemento sobre el otro, es un permanente intercambio, y no hace distinción entre lo puro y lo impuro, la belleza y la fealdad, el bien y el mal. En una multipolaridad, enriquecida la concepción taoísta, en la que los elementos se reequilibran para configurar el proceso. (Gómez, 2016)

Esto nos recuerda, además, a la corriente Neotántrica. En sistema y funcionamiento de esta piel envolvente intervienen elementos tradicionales estructurales en edificación y construcción que empiezan a convivir con la introducción de la tecnología aplicada a las nuevas formas de producción de energía. Esta simbiosis se ve reflejada en la interacción de los elementos involucrados, relacionándose y beneficiándose mutuamente entre ellos, “Mutualismo”.

**Figura 4: Fotografía de María García Medina, “Conexión”**



#### **4. PielSen**

La palabra PielSen, es el acrónimo de PielSensibles. La piel es la base de la que parte el proyecto, lo impregna todo. Es el órgano funcional que envuelve y protege. Por lo tanto, debería ser el sistema más complejo y sensorial, para reaccionar frente a distintos estímulos. Sin embargo, en los edificios está dormida. Sensible, es la palabra con la que nos referimos a la principal característica de la piel. Una piel capaz de captar los estímulos externos comparándolos con otros valores. La sensibilidad de la envolvente es la energía dinámica que impregna todo, necesaria para despertar la consciencia y estimular los sentidos. Estimular al propio edificio. “PielSen” es la dualidad de la totalidad que funciona como un solo concepto. (Galiano, Hernández, Turrado, 2017)

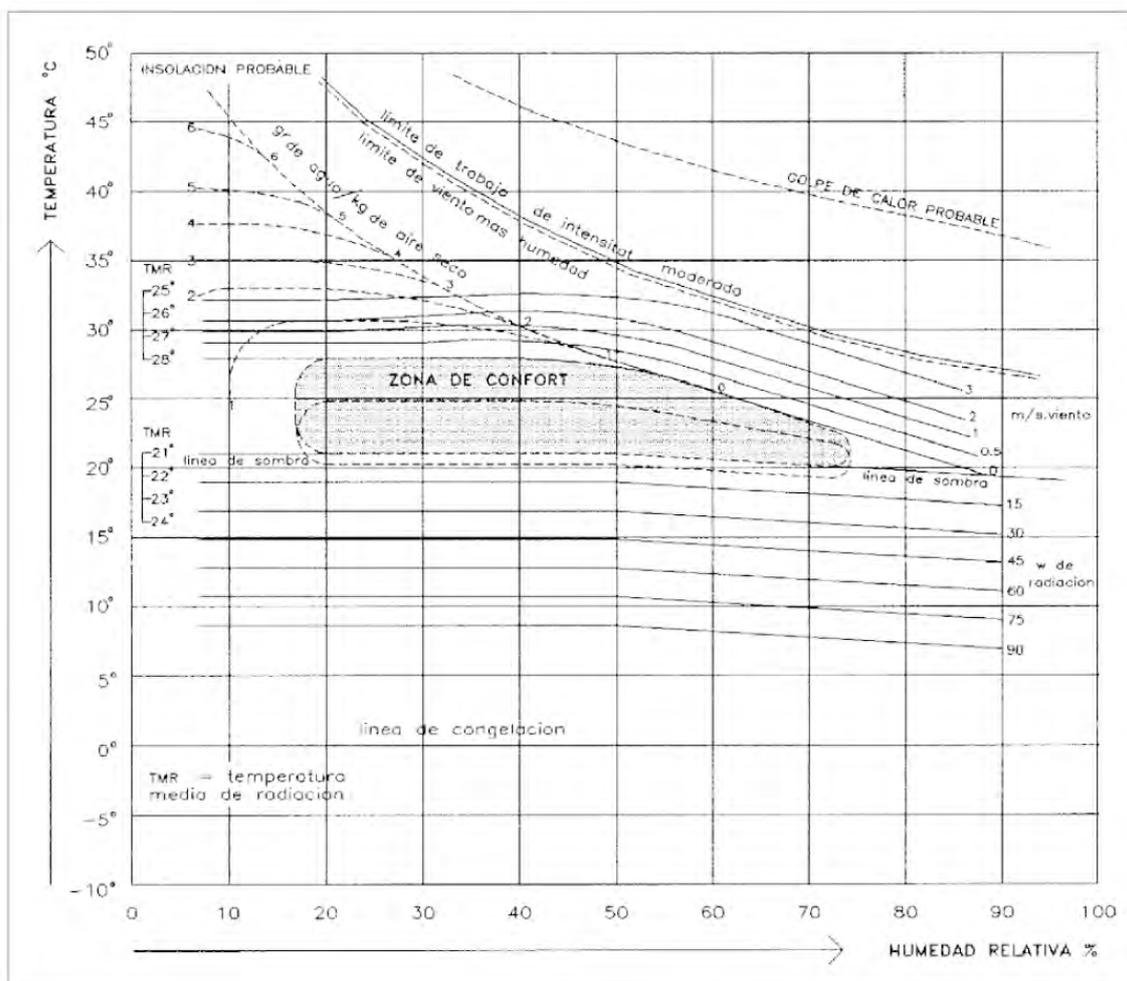
El proyecto plantea una reflexión sobre cómo re-cualificar y re-activar los espacios exteriores con el objetivo de re-interpretarlos y situar al individuo como 'actor principal' artífice de una regeneración urbana y social. Entendemos que a través de dichos espacios se establece una dinámica de redes capaz de crecer y activarse dependiendo de las necesidades del usuario y de la ciudad, capaz de conformarse como un sistema flexible gestionado en función de su ocupación.

De acuerdo con los sistemas de eliminación de energía del cuerpo humano, los “parámetros térmicos” de un ambiente se pueden resumir en:

- Temperatura del aire que envuelve el cuerpo, que regula la cesión de calor por conducción-convección y respiración
- Temperatura de radiación, media ponderada de las superficies que envuelven el cuerpo, que influye sobre los intercambios radiantes.
- Humedad relativa del aire, que modifica las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad cedida con las respiración.
- Velocidad del aire respecto al cuerpo, influyente en la disipación por convección y en la velocidad de evaporación de la transpiración.

La acción de estos cuatro parámetros es conjunta, aunque actúen sobre mecanismos hasta cierto punto diferentes. La gráfica de Victor Olgay estudia el medio ambiente exterior, teniendo presentes directamente dos parámetros de confort térmico: la temperatura del aire y la humedad relativa. Tabla 2 (Serra Florensa, R., Coch Roura, H. 2004)

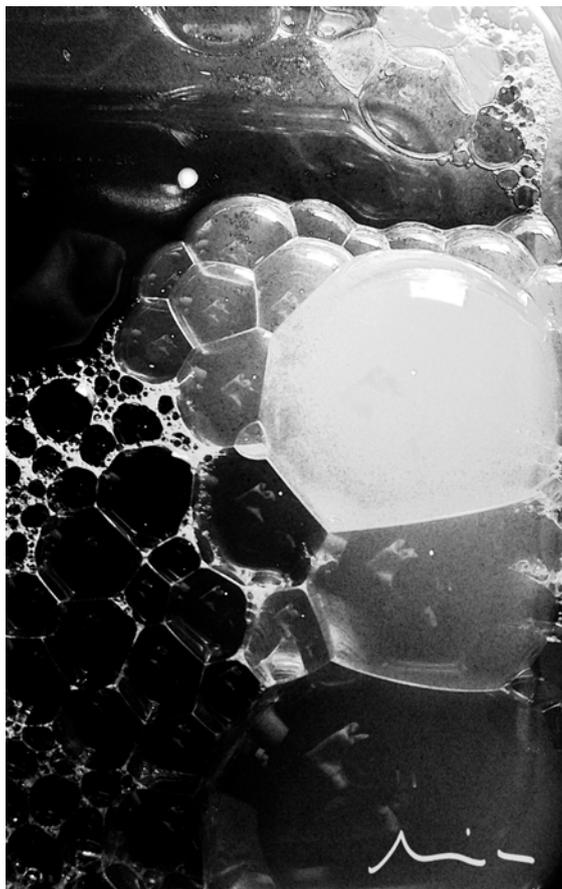
Tabla 2: Gráfica de Victor Olgay



Podemos decir que esta regeneración urbana encuentra en las nuevas tecnologías el 'lugar común' a las distintas redes de la ciudad: social, ambiental y económica (innovación y educación). La convivencia del medio construido y digital se centra en la re-interpretación del medio físico para cedérselo al individuo a través de las actividades y la escala de clima.

Es mucho más que la unión de dos conceptos independientes es la fusión que se produce como resultado de la energía y la materia. En este estado alquímico se alcanza un grado superior, hasta ahora por explorar en cuanto a las envolventes convencionales. (Turrado, Hernández, 2016)

Figura 5: Fotografía de María García Medina, “Confluencia”



## 5. Base proyectual

La sensibilidad es complementaria a la percepción. La capacidad de percibir sensaciones y reaccionar entre ellas puede convertirse en una acción automática. Estudiar las pieles sensibles para aplicarlo a objetos aparentemente inertes, se asemeja a entrelazar arte y técnica en el entorno. Un continuo-discontinuo que establece interior y exterior entremezclado que produce diferentes sensaciones.

Los objetos-edificios pasan a ser medio y su permeabilidad es autorregulada. La frontera se diluye. Una sensorización adecuada permite diseñar el tejido. Tecnología que interpreta las sensaciones y reacciona con un patrón determinado. No termina de ser autosuficiente pero actúa para serlo. Los sensores leen las condiciones medioambientales y los organismos que habitan los edificios condicionan las respuestas. Una red de menor escala que los espacios exteriores que interacciona con el individuo.

Entornos-fragmento que configuran el espacio intersticial. Se trata de 'aislar' un entorno para configurar sus condiciones. La escala la define la red y viceversa. Una red comunicativa que reacciona al estímulo. Unas distancias que marca la técnica que en vez de adaptarse al edificio, lo conforma. (Hernández, Turrado, 2016)

PielSen está formado por tres elementos básicos. El primero son los **pliegues**, elemento que engloba la totalidad del conjunto y permite el movimiento del mismo. El segundo pilar lo

forman las **teselas**, elementos con características y funcionamiento concreto, respondiendo a las necesidades percibidas. Por último, encontramos los **poros**, captadores de información. Se encargan de analizar y comparar resultados atmosféricos externos e internos, generando resultados que sirven de base para el funcionamiento del conjunto, persiguiendo un comportamiento continuo del pensamiento.

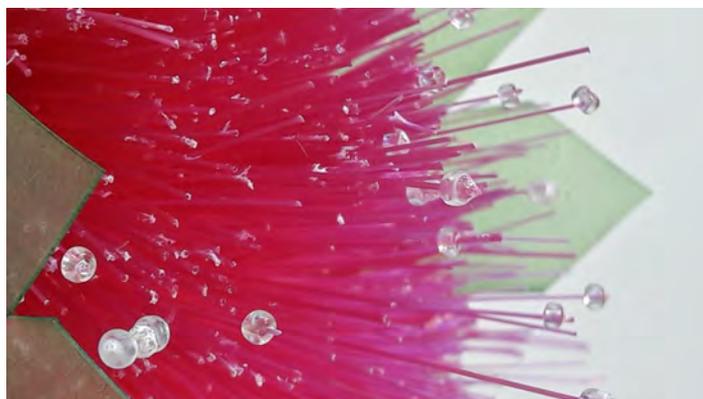
### 5.1 Sistema interdisciplinar

El sistema inteligente de la envolvente permite captar y canalizar la energía, despertando la consciencia del propio edificio y haciéndolo reaccionar. Lo convierte en un edificio presente capaz de protegerse frente a las condiciones externas de forma autónoma, convirtiéndose, además, en un edificio autosuficiente.

Dentro del equipo de investigación, encontramos especialistas en diferentes disciplinas, que trabajan de forma activa en la transmisión de sus conocimientos dentro del equipo. Esto hace de PielSen, un proyecto multidisciplinar, donde las relaciones y conocimiento entre seres humanos y máquinas, se entremezclan y pensado para resolver todas las necesidades que plantea. Entre las necesidades básicas podemos diferenciar:

- Protección frente a condiciones climáticas externas: hasta ahora esta ha sido la necesidad básica por excelencia de todas las construcciones existentes. La lucha constante por la supervivencia y la protección del exterior. Abarca no sólo los aspectos constructivos, sino también un estilo de vida. En la práctica, sin embargo, con el paso del tiempo ha ido sufriendo un deterioro muy notable. Visible en numerosas construcciones recientes. Como si hubiéramos olvidado cómo protegernos y por qué lo hacíamos. El cambio conceptual es entender los edificios como parte del continuo y no continuar el mito de la cabaña como refugio ante la naturaleza.
- Protección y regulación frente a polucantes y contaminación: es una de las necesidades básicas que recoge el proyecto, hasta ahora con muy poco éxito en la construcción tradicional. La alergia y todas las enfermedades respiratorias que parten de ella afectan, con distintos grados de diagnóstico, a prácticamente la mitad de la población. La mayoría de los casos son aceptados por las personas y frente a no poder hacer nada, llegan a aprender a convivir con ellos. PielSen se plantea como solución respuesta a esta necesidad con la intención no solo de ganar en calidad de vida, sino de aportar beneficios en el tratamiento de personas enfermas, tanto en casa como en hospitales.

Figura 6: Fotografía de Ignacio Arias Hurtado, “tamiz recuperador”



Captador y generador de energía: Reutilizar y aprovechar los recursos naturales es algo que cada vez tenemos más presentes en la construcción y rehabilitación de edificios. Con una clara postura de captación, los bienes vienen dados. Relacionado con el cuidado del medio ambiente y el respeto a nuestro entorno. La envolvente diseñada como solución a estos aspectos, no solo responde a esta necesidad, sino que además consigue que el propio edificio funciones como generador de energía. Para ellos estudia otros medios y fuentes de captación de energía no convencionales. (Gaitan, Méndez, Rodríguez, Peralta, & Hernández, 2003). El conjunto de elementos permite obtener un edificio autónomo y autosuficiente. Pasar de la gran escala unitaria a la pequeña escala repartida, espacial y conceptualmente, sin desechar la hibridación. Un gradiente de soluciones y posiciones sin interrupción entre las etapas. Los minimpulsos que conducen al éxtasis.

- Mejorar en calidad de vida: Es tan necesario que la piel humana cuide nuestros órganos, como que la envolvente del edificio cuide a las personas que lo ocupan. Hasta ahora este concepto lo hemos visto presente de forma muy básica y elemental en las construcciones tradicionales con una actitud defensiva en ocasiones. Soluciones sin grandes posibilidades de cambios y poco margen de actuación. Con el sistema de envolvente, esta pasa a ser un “objeto inteligente”, con multitud de cerebros que consensuan la acción, capaz de adaptarse según las necesidades de cada individuo y de cada morador: humano, animal o máquina, de forma autónoma. (Galiano, Hernández, Turrado, 2017)

Figura 7: Fotografía de Ignacio Arias Hurtado, “*envolvente autosuficiente*”



## 6. Fundamentos teóricos

Los fundamentos teóricos base de la investigación sobre esta envolvente parte del estudio del funcionamiento de la piel humana. Además, se tienen en cuenta otros fundamentos teóricos necesarios y complementarios como son los relacionados con estructuras flexibles y eficientes. Dichos textos, de base científica, van nutriendo el proyecto, y definiendo cada vez más sus objetivos en cuanto al diseño acompañado de la filosofía que contempla la ligereza, la asimetría, y la conectividad, entre otras.

Las capacidades básicas desarrolladas por PielSen, conducen al despertar de la energía óptima para el pleno funcionamiento del edificio.

## 6.1 Capacidades de movimiento

Estas fuerzas se ven reflejadas en su dinamismo y su capacidad de movimiento en respuesta a los estímulos, haciendo crecer energéticamente no solo al propio edificio, sino al concepto de edificación, desbloqueando ataduras convencionales. Sin partir de miedos o prejuicios.

Las diferentes posibilidades de movimiento de reacción y su mecanismo de transmisión de energía son consideradas hasta el momento secretas. Es un proyecto de gran impacto no solo en arquitectura, ingeniería y construcción. Podría suponer un cambio de 360° en la concepción actual de la construcción. Actualmente, el proyecto se encuentra en fase de desarrollo y experimentación, por lo que aún requiere de tiempo para afianzar los datos recogidos sobre su funcionamiento, garantizándonos una buena aceptación social. De momento nos conformamos con adelantar los 4 frutos o características básicas que aporta el funcionamiento de la envolvente y que nos beneficia personalmente:

- Captación y comparación de datos: Es el centro metafórico de la envolvente. Presente en la frontera entre el exterior y el interior. El poro no es ni bueno, ni malo, no existe la dicotomía humana, y son las decisiones que tome el conjunto del sistema lo que nos permitirá juzgarlo. La razón por la que actualmente la presencia de este poro, registrador de información nos atormenta y resplandece, es porque aún no estamos lo suficientemente evolucionados para vivir memorias en tiempo futuro. Todavía nos dejamos dominar no nuestra naturaleza “tradicional”, herencia de sociedades anteriores y que, por lo tanto, respondía a necesidades pasadas. La satisfacción permanente y constante, con momentos de reposo, de la envolvente por recoger información de su alrededor puede tener connotaciones negativas, pero en realidad es un impulso sin cualificación (Segado, 2010). Funciona como fuerza que impulsa una acción. Para que una acción se lleve a cabo, primero debe haber impulso, debe haber **deseo**.

**Figura 8: Fotografía de Ignacio Arias Hurtado, “fuerza centripeta”**



- Constante interconexión: PielSen reconoce la necesidad de conexión tanto como con el entorno como la interconexión de los elementos que lo componen, con el fin de garantizar un funcionamiento unitario y en armonía al conjunto. Cada parte, aparentemente independiente, funciona para compartir y funcionar como un solo

sistema. Este comportamiento es considerado un comportamiento esencial en las relaciones sociales de las personas para alcanzar el éxito de compartir (Morris, 1978). Representa todas las formas de seguridad presentes en la vida y que afectan al ser humano en la búsqueda del control, el confort y la felicidad. Hace referencia a la idea de prosperidad material, de **abundancia**.

Figura 9: Fotografía de Ignacio Arias Hurtado, “multiplicidad”



Generador de energía: Otra de las características básicas de su funcionamiento es la relacionada con la “ley universal de acción, reacción”. Posiblemente sea uno de los frutos principales del proyecto. El sistema de envolvente inteligente está programado y tiene la capacidad de rectificar las “malas energías” acumuladas en el edificio y por lo tanto, presentes en la vida de sus habitantes. Muy conectado al concepto de “ciclo de vida”, nacimiento, vida y muerte, donde se muere primero y se nace después indistintamente. Partiendo de esa ley, podemos compararla a la actividad de nuestra envolvente ante posibles ataques o impactos externos y su capacidad para aprovechar las condiciones existentes para beneficio propio y del individuo, actuando a favor de la acción recibida o provocada. (Sanz-Montero, Gredilla, Herrero, & Quiroga, 2004). Esta acción de beneficiar al individuo y a su entorno respetando el contexto en el que se encuentra es lo que conocemos como **virtud**.

- Equilibrio: Este último fruto hace referencia a la parte espiritual y, por lo tanto, la parte más esencial del proyecto. Es lo que conocemos como liberación de la energía. Se caracteriza por un complejo e interminable debate sobre los diferentes caminos alcanzar esa ansiada **liberación** (Reynoso, 2016). Mediante microimpulsos se canaliza la energía y se mantiene en superficie dispuesta a ser utilizada excitando la piel como red sensible del organismo. PielSen alimenta y regurgita pensamientos del tiempo pasado confundiéndolos con el presente y el futuro. Moviéndose de manera atemporal y reduciendo las variables complejas, sincronizando el movimiento y sin aclimurte ante el cambio climático.

Figura 10: Fotografía de María García Medina, “Contacto”



## 7. Impacto del proyecto

### 7.1 Científico

**PielSen concibe los edificios** como generadores de energía mediante la incorporación de tecnologías de energy harvesting. Esto permite la transferencia y comunicación de soluciones entre las universidades, la investigación y la empresa. Una solución tangible que asume la validación de nuevas tecnologías y herramientas con una clara aplicación para la mejora de la sociedad.

Aporta un impulso para nuevos desarrollos (tecnologías de comunicación, materiales, tejidos...) en el campo de investigación:

- Mejora de medioambiente y disminuye el consumo de recursos gracias a la reducción en el uso/demanda de energía y emisiones de GEI asociadas.
- Adaptable a cualquier clima y tipología de edificio, particular o público (vivienda, centros educativos y comerciales, hoteles, hospitales, oficinas, industria). Factible en obra nueva y rehabilitación.
- Incorporación de nuevas tecnologías para la modernización al sector de la construcción.

### 7.2 Social

El proyecto, presenta además una gran componente social. Ésta se ve en el desarrollo del mismo para la mejora de la calidad del aire para personas con enfermedades respiratorias (alergias o asma), soluciones de confort interior personalizadas y ajustadas a necesidades

concretas (polvo, alérgenos, ácaros...), mejora del confort y ahorro económico. Garantiza el acceso a servicios energéticos de mejor calidad y de bajo costo para un mayor sector de la población y supone un incremento de empleo en el sector de la construcción y los diversos sectores relacionados

### **7.3 Económico**

El desarrollo de esta envolvente inteligente aporta una mejora en la competitividad industrial en sectores relacionados con el medio ambiente y la construcción, con la ampliación de mercados y oferta gracias al desarrollo de productos de diferentes sectores que interactúan con la solución propuesta (sensores, materiales...).

Del mismo modo, ayuda al desarrollo del tejido industrial y a la reactivación del sector de la construcción gracias a su influencia en PYMES que encontrarán nuevas oportunidades de negocio relacionadas con empresas de servicios energéticos (ESEs), auditoras, gestoras y consultorías energéticas, suministradoras de energía, TICs...dándole valor al trabajo multidisciplinar y la conectividad de centros, investigadores y empresas.

## **CONCLUSIÓN**

Los fundamentos teóricos base del proyecto de investigación parten del estudio del funcionamiento de la piel humana. No solo se limitan a su funcionamiento funcional, sino que va más allá. Las capacidades básicas desarrolladas por PielSen, conducen al despertar de la energía en sus distintas concepciones, viéndose reflejado en su dinamismo y capacidad de movimiento, no solo al propio edificio, sino al concepto de edificación, desbloqueando ataduras convencionales.

Su comparación parcial con la filosofía tántrica nos ayuda a entender que no hay superioridad de un elemento sobre el otro, es un permanente intercambio, y no hace distinción entre lo puro y lo impuro, la belleza y la fealdad, el bien y el mal. En una multipolaridad, enriquecida la concepción taoísta, en la que los elementos se reequilibran para configurar el proceso.

En un segundo orden se situarían aquellos otros en donde el balance energético global incluiría no sólo la fase de vida útil del edificio, sino todo su proceso constructivo, desde la extracción de los materiales, su elaboración industrial, su puesta en obra, su uso, su reciclaje y su destrucción (1). En este caso, el balance energético global y su equivalencia en contaminación ambiental llevaría a un análisis pormenorizado de los materiales de construcción, y por tanto, a la utilización de aquellos menos costosos en términos energéticos (o en su equivalente, en contaminación ambiental), y al rechazo, o a la mejora del sistema productivo, de aquellos otros con costes elevados, capaces de anular las posibles ganancias energéticas obtenidas durante el tiempo de usufructo del edificio.

Según este principio, se primarían más, por ejemplo, aquellas técnicas capaces de introducir en la construcción materiales procedentes del reciclaje (actualmente se hace, en los países nórdicos, con el 40% del vidrio empleado en la edificación) y, a su vez, se fomentarían aquellos otros materiales que, en su proceso de mantenimiento o sustitución, puedan ser introducidos, a su vez, en un nuevo ciclo.(2)

Esta simbiosis refleja la confluencia de los elementos involucrados, relacionándose y beneficiándose mutuamente entre ellos, funcionando como un único constituyente, PielSen.

## REFERENCIAS

- Gaitan, R., Méndez, D., Rodríguez, E., Peralta, D., & Hernández, W. (2003). Contribución al estudio del contenido esterolico de algunas esponjas marinas del genero xestospongia y evaluación de su actividad ictiotóxica. *Revista Latinoamericana de Química*, 31(1), 20-27. Recuperado el 5 de 3 de 2019, de <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-latinoamericana-de-quimica/articulo/contribucion-al-estudio-del-contenido-esterolico-de-algunas-esponjas-marinas-del-genero-xestospongia-y-evaluacion-de-su-actividad-ictiotoxica>
- Galiano, M, Hernández, R. et Turrado, E. "Los edificios tienen vida. PielSen 2.0" III Congreso Edificios Inteligentes 2017. Madrid ISBN 978-84-697-3491-9
- Gómez, O. R. (2016). *Manual de Tantra - ...desde el tantra a la Tecnología del deseo*® 3ª edición. Recuperado el 5 de 3 de 2019, de <https://tantra.org.es/revista/index.php/biblioteca/article/view/61/144>
- HERNÁNDEZ, R., TURRADO, E. et DONAIRE, M.D. Bioconectividad multipolar 4.0. Contart 2018. COATZ Y EUP La Almunia, Zaragoza.
- Hernández, R. et Turrado, E. "Investigación sobre pieles sensibles" CONAMA 2016. Madrid ISBN 978-84-617-7390-9.
- Higueras García, Esther (2013). *Desarrollo urbano sostenible y criterios de diseño urbano*. Monografía (Artículo de Discusión). E.T.S. Arquitectura (UPM), Madrid.
- Morris, D. (1978). *El zoo humano*. Recuperado el 5 de 3 de 2019, de <http://fierasysabandijas.galeon.com/enlaces/libros/zoohum2.pdf>
- NAREDO, J.M. , 1996 Sobre el origen, el Uso y el Contenido del Término Sostenible Ciudades para un futuro más sostenible. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- Reynoso, C. (2016). TANTRISMO Y PSICOANÁLISIS. UNA PERSPECTIVA ANTROPOLÓGICA. *Revista Científica Arbitrada de la Fundación MenteClara*, 1(1), 21-205. Recuperado el 5 de 3 de 2019, de <http://fundacionmenteclara.org.ar/revista/index.php/rca/article/view/12>
- Sanz-Montero, A., Gredilla, R., Herrero, A., & Quiroga, G. B. (2004). Efecto del peróxido de hidrógeno en la producción mitocondr de radicales libres en relación con el envejecimiento. *Revista Española de Geriátría y Gerontología*, 39(1), 29-34. Recuperado el 5 de 3 de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0211139X04749288>
- Segado, F. S. (2010). Reseña de "Inteligencia Ecológica" de Daniel Goleman. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 5(15), 209-210. Recuperado el 5 de 3 de 2019, de <http://redalyc.org/pdf/1630/163018699009.pdf>
- Serra Florensa, R., Coch Roura, H. (2004) ARQUITECTURA Y ENERGÍA NATURAL. Universitat Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. Cataluña. ISBS 8498800099, 9788498800098
- Turrado, E. et Hernández, R. "Regeneración urbana a través de los espacios exteriores" CONAMA 2016.Madrid ISBN 978-84-617-7390-9.

(1) N. de los E: sobre el concepto de "análisis del ciclo de vida", sugerimos consultar la página [http://www.pre.nl/life\\_cycle\\_assessment/default.htm](http://www.pre.nl/life_cycle_assessment/default.htm), perteneciente a PRÉ Consultants, empresa holandesa de consultoría especializada en análisis de ciclo de vida. Boletín CF+S > 14 -- Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html>

(2) Boletín CF+S > 14 -- Hacia una arquitectura y un urbanismo basados en criterios bioclimáticos > <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n14/afcel.html> Edita: Instituto Juan de Herrera. Av. Juan de Herrera 4. 28040 MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X  
Arquitectura bioclimática, conceptos básicos y panorama actual Flavio Celis D'Amico Dr. Arquitecto, profesor titular de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Alcalá, miembro del Seminario de Arquitectura Integrada en su Medio Ambiente (SAIMA) de la Universidad Politécnica de Madrid. Madrid (España), noviembre de 2000.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: María Dolores Donaire Galiano  
Teléfono: 637 925 853  
E-mail: [donairegaliano@outlook.es](mailto:donairegaliano@outlook.es)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



Francisco Fernández Hernández  
José Miguel Peña Suárez  
Juan Antonio Bandera Cantalejo  
María del Carmen González Muriano  
Montserrat Ventura  
*Corporación Empresarial Altra S.L.*

## **IMPACTO DEL CONTROL EFICIENTE DE LOS SISTEMAS DE HVAC EN LA SOSTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

### **Resumen**

En España la reglamentación relativa a la edificación eficiente se rige por el Código Técnico en la Edificación y el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. Sin embargo, han surgido diferentes iniciativas a raíz de la mayor concienciación por la edificación sostenible a nivel global. Como ejemplo, se pueden mencionar Leed, Breeam y Well, que no siendo de carácter obligatorio en España, gradualmente se están tomando como referente en la edificación y la gestión energética. Estas iniciativas redundan en edificios más económicos, con un menor coste de utilización y mantenimiento. Gracias a que sus nuevos métodos de cálculo cuantifican las ventajas aportadas por nuevas soluciones tecnológicas.

Los sistemas de climatización en edificios han experimentado un gran salto tecnológico debido a la optimización de los procesos de control, diseño y fabricación de estos equipos. Los sistemas de control Airzone perfeccionan el comportamiento de las instalaciones de climatización, calefacción y ventilación, aportando un alto nivel de confort al usuario final, a la vez que se consigue un ahorro energético considerable.

El efecto de este tipo de control zonificado no está contemplado en las herramientas oficiales disponibles en España. Debido a esta carencia de las herramientas oficiales, las certificaciones voluntarias adquieren mayor importancia, ya que, éstas sí evalúan dicho impacto.

El objetivo de esta comunicación es mostrar el impacto de incluir un sistema de zonificación y control en el edificio a nivel energético y de confort en las certificaciones voluntarias de sostenibilidad de edificios, que están marcando la tendencia a seguir en materia de sostenibilidad energética.

### **Resumen en Inglés**

In Spain, the regulation related to efficiency in building construction is governed by Código Técnico en la Edificación and Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios. However, different sustainability certification initiatives have arisen as a result of a heightened awareness for sustainable building globally. As an example, we can mention Leed, Breeam and Well certifications, which, although not mandatory in Spain, are increasingly being taken as a reference in building and energy management. When these sustainability certification initiatives are considered it results in buildings with a lower cost of use and maintenance. Thanks to the fact that its new calculation methods quantify the advantages provided by new technological solutions.

HVAC systems in buildings have experienced a great technological leap due to the optimization of control, design and manufacturing processes. Airzone control systems

improve the behavior of heating, ventilation and air conditioning systems, providing a high level of comfort to the end-user, while achieving substantial energy savings.

The effect of this kind of zoned control is not considered in the energy efficiency official tools available in Spain. Due to the weakness of these official tools, voluntary sustainability certifications are becoming more important, since they do evaluate this effect.

The main objective of this communication is to show how including a zoning and control system in the building impacts voluntary sustainability certifications of buildings, in terms of energy and comfort, which are setting the tendency to follow in terms of energy sustainability.

**Palabras clave:** *métodos de calificación energética, eficiencia energética en edificios, sistemas de control de climatización.*

**Área temática:** *Actuaciones sostenibles en la edificación.*

## 1. Introducción

En los últimos años la preocupación por el aumento en el consumo de energía de los edificios se ha traducido en la creación de diferentes directivas europeas orientadas a conseguir una mayor eficiencia energética y sostenibilidad en los edificios. Para conseguir reducir el consumo de energía de un edificio y llegar a lo que se denomina edificios de energía casi nulos, además de las medidas pasivas que permiten reducir la carga térmica en el edificio, los sistemas de control sobre los elementos consumidores, principalmente la iluminación, los sistemas de climatización y los equipos, son fundamentales para garantizar el confort de los usuarios (térmico, lumínico, calidad de aire, etc.), y fomentar la optimización del consumo de energía de estos elementos.

En esta línea, existen estudios que demuestran la necesidad y el potencial de ahorro mediante elementos de control. En un estudio con 118 edificios diferentes identifican 384 problemas relacionados con el control: programación, comunicación entre dispositivos, problemas en gestionar o controlar datos, etc., haciendo especial hincapié en que deben ser detectados y diagnosticados para el buen funcionamiento del edificio (Ardehali & Smith, 2001). Una gran cantidad de energía es desaprovechada por una ineficiente gestión de los sistemas HVAC por la falta de medidas de predicción y medida de la ocupación en el edificio (Shi, 2017). Por otro lado, los sistemas de control permiten mantener niveles estrechos de humedad y temperatura en oficinas, quirófanos, museos, etc. Ferdy-Grygierek utiliza el software Energyplus para modelar el sistema en un museo demostrando la disminución de fluctuaciones de temperatura y humedad a niveles establecidos de un 5 a un 88% (Ferdy-Grygierek, 2019).

La selección de técnicas de modelado y un modelo apropiado del sistema de calefacción, ventilación y ventilación son dos elementos fundamentales para mejorar la funcionalidad del sistema de control y la eficiencia energética de los edificios (Afroz, 2018). Sin embargo, lograrlo no es una tarea sencilla, y por ello se hace uso de programas de simulación térmica especializados que permitan un estudio energético del edificio exhaustivo y detallado. Actualmente, los programas convencionales no tienen en cuenta el efecto de estos sistemas de automatización y control en la eficiencia energética de los edificios y, en particular, los controladores de calefacción y refrigeración se suponen que son ideales y alcanzan las temperaturas de consigna de forma exacta y sin oscilaciones.

Como solución, ya existen normativas europeas que obligan a considerar el efecto de los sistemas control de climatización en la eficiencia energética del edificio, como son las normas UNE-EN 15232:2014 y UNE-EN 15500:2010, que ya se están teniendo en cuenta en métodos de cálculo en países como Francia, pero que en España, ni el CTE ni el RITE, contemplan aún la obligación de cuantificar el impacto que los sistemas de control tienen en el comportamiento energético de los edificios.

El objetivo de este estudio es mostrar la influencia que tiene el sistema de control zonificado de Airzone, con una algoritmia inteligente que controla el sistema de climatización en función de las condiciones térmicas del edificio, en el consumo de energía y confort de los usuarios de un edificio y las ventajas que conlleva en los principales métodos de calificación/certificación energética de edificios que se realizan en la actualidad. En particular, se muestra un caso de estudio con la certificación BREEAM, una de la más importante en Europa para garantizar la calidad de un edificio.

## 2. El sistema de control zonificado.

En el sector residencial y de servicios de pequeña y mediana potencia se utilizan con frecuencia sistemas todo-aire con máquinas inverter de expansión directa y una red de conducto de caudal constante. Este tipo de sistema se basa en el control de la temperatura de una única zona, de tal forma que esta temperatura se mantendrá dentro del intervalo de confort. En cuanto al resto de zonas, aun estando bien diseñada la red de conductos y elegida la potencia máxima del equipo, si no presentan un perfil de carga parecido al de la zona de control (uso, orientación, cargas térmicas, etc.), sus temperaturas pueden situarse fuera del rango del confort.

Alternativamente a éstos, los sistemas zonificados se basan en el control independiente de la temperatura de cada una de las zonas. Para ello se incorpora un termostato en cada estancia que permite conocer la demanda térmica en cada una de ellas y seleccionar una temperatura de consigna independiente según las preferencias del usuario. De esta manera, cuando una zona alcanza la temperatura de consigna, ésta envía una señal de control a la compuerta motorizada de la zona para que se cierre e interrumpa la impulsión del aire acondicionado. En la figura 1 se muestra un esquema de un sistema zonificado.



Figura 1. Esquema de un sistema zonificado.

Además de la zonificación térmica, el sistema de control de Airzone basa su funcionamiento en la pasarela de comunicación que permite una comunicación bidireccional entre la central de control y el equipo y realizar acciones tales como el encendido y apagado de la máquina y el cambio de modo de funcionamiento. Además, el control sobre parámetros de la máquina tan importantes como la velocidad del ventilador o la temperatura de consigna, permite

definir algoritmos de control inteligentes que optimicen el consumo de energía. Estos algoritmos son los siguientes:

- Control de la velocidad del ventilador de la unidad interior de la máquina.

Regulado por el algoritmo Q-Adapt, se adecúa el caudal impulsado por el ventilador de la unidad interior cambiando la velocidad del mismo de forma dinámica.

- Limitación de la temperatura de consigna de la zona.

Regulado por el algoritmo Eco-Adapt, que supervisa la temperatura de consigna en las distintas zonas y limita la temperatura máxima o mínima seleccionable según sea el modo calor o frío, respectivamente. El Modo A fija el rango de temperatura máxima en invierno es de 22°C y en verano de 24°C, el Modo A+ en 21.5°C y 25°C y el Modo A++ en 21°C y 26°C.

- Control de la temperatura de consigna de la máquina.

Regulado por el algoritmo Efi-Adapt (funcionalidad del Eco-Adapt para equipos aire-aire), controla de forma dinámica la temperatura de consigna del equipo en función de la temperatura de cada zona y la de retorno a la máquina, considerando el efecto de la inercia térmica de cada zona.

### **3. Métodos de certificación energética de edificios.**

Se describen algunos de los métodos de certificación energética de edificios que más importancia tienen en el sector de la edificación.

#### **3.1 BREEAM® (Building Research Establishment's Environmental Assessment Methodology).**

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) es un método de evaluación y certificación de la sostenibilidad de la edificación, ampliamente reconocido en el ámbito internacional, el cual favorece una construcción más sostenible que se traduce en una mayor rentabilidad para quien construye, opera y/o mantiene el edificio, consiguiendo la reducción de su impacto en el medio ambiente, y un mayor confort y salud para quien vive, trabaja o utiliza el edificio.

Evalúa impactos en 10 categorías (Gestión, Salud y Bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso ecológico del suelo, Contaminación, Innovación) y otorga una puntuación final tras aplicar un factor de ponderación ambiental que tiene en cuenta la importancia relativa de cada área de impacto. La puntuación final se traduce en una etiqueta que muestra el nivel obtenido: Aprobado, Bien, Muy Bien, Excelente y Destacado.

Como ejemplo, Ponterosso analiza el certificado Excelente en un edificio de oficinas de la empresa Land Rover en Portsmouth (Ponterosso,2018). El estudio examina la monitorización física del ambiente térmico y lo compara con la percepción de confort de los usuarios, obteniendo algunas discrepancias en aspectos de confort, especialmente en calidad de aire y confort lumínico.



Figura 2. Categorías de evaluación de la herramienta de certificación BREEAM.

Tal y como se demuestra en el caso de estudio, el sistema de zonificación térmica puede mejorar la puntuación obtenida en la certificación BREEAM en las categorías: Salud y Bienestar, Energía y Contaminación.

### 3.2 LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design).

LEED® Líder en Eficiencia Energética y Diseño sostenible, es un sistema de evaluación y estándar internacional desarrollado por el "U.S. Green Building Council" para fomentar el desarrollo de edificaciones basadas en criterios sostenibles y de alta eficiencia.

LEED® se caracteriza por proporcionar una evaluación de la sostenibilidad de la edificación valorando su impacto en varias áreas principales (figura 3).



Figura 3. Áreas de evaluación de la herramienta de certificación LEED.

LEED® es un sistema flexible que puede aplicarse a cualquier tipo de edificación, tanto edificios terciarios como residenciales. Los proyectos se puntúan según las categorías anteriores y la suma de los puntos obtenidos determina el nivel de certificación: Certificado, Plata, Oro, Platino. Suzer realiza un estudio comparativo de las certificaciones LEED y BREEAM bajo las mismas condiciones y obtiene como conclusión principal que aunque se muestra una correlación positiva entre los resultados de puntuaciones obtenidos en ambos

métodos, en algunos se obtienen diferencias estadísticas significativas que implican que el método de LEED obtenga puntuaciones más elevadas que BREEAM (Suzer, 2019).

### 3.3 WELL Building Standard™.

La Certificación WELL Building Standard v1 es el primer estándar de construcción que se enfoca exclusivamente en la salud y el bienestar de las personas en los edificios. WELL es un sistema basado en la medición, monitorización y certificación del funcionamiento y rendimiento de las características del edificio que afectan a la salud y el bienestar de sus ocupantes, identificando 100 características a través de siete categorías, o conceptos: aire, agua, alimentación, iluminación, bienestar físico, confort y mente. Cada Concepto WELL está diseñado para abordar problemas que afectan a la salud, el confort o el conocimiento de los ocupantes a través del diseño, las operaciones y el comportamiento (figura 4).



Figura 4. Conceptos de evaluación de la herramienta de certificación WELL.

El objetivo principal de esta certificación es favorecer una experiencia positiva en los ocupantes de un edificio, que se refleja en un aumento de sus capacidades de concentración y productividad, reforzando el sentido social de los individuos y motivando su sentido de pertenencia con el entorno. El WELL Building Standard v1 se puede aplicar en muchos sectores inmobiliarios, pero el estándar actual está optimizado para edificios de oficinas comerciales e institucionales, aunque se puede aplicar a cualquier tipo de edificio nuevo o existente.

### 3.4 VERDE® (Valoración de Eficiencia de Referencia de Edificios).

VERDE® es la herramienta española de certificación de sostenibilidad ambiental. Consiste en un conjunto de herramientas que componen una metodología de evaluación y certificación ambiental de edificios desarrolladas por el GBCe (Green Building Council España). El Comité Técnico del GBCe ha definido unos criterios y reglas para establecer los límites y requisitos necesarios para poder otorgar la Certificación VERDE® a un edificio.

VERDE® es un certificado equivalente a BREEAM o LEED, pero adaptado a la normativa y situación socioeconómica y cultural de España. Por tanto, el sistema de evaluación se basa en el CTE (Código Técnico de la Edificación) y las Directivas Europeas, en base a los principios de la bioarquitectura, respeto por el medio ambiente, compatibilizando el edificio con el entorno y construyendo con altos niveles de calidad de vida y confort para los usuarios.

Los criterios de evaluación se agrupan en diferentes áreas: selección de la parcela, proyecto de emplazamiento y planificación, calidad del ambiente interior, energía y atmósfera, calidad del servicio, recursos naturales, impacto socio económico e innovación (figura 5).



Figura 5. Áreas de evaluación de la herramienta de certificación VERDE.

### 3.5 Certificación europea eu.bac (European Building Automation Controls Association).

La plataforma eu.bac estableció una certificación europea que sirve como referencia para determinar la exactitud de los controles de calefacción y refrigeración conforme a las directivas europeas y las normas EN. Esta exactitud puede ser implementada en los motores de cálculo de certificación energética de los Estados Miembros de la Unión Europea, siendo posible así tener en cuenta en el cálculo el aporte de eficiencia energética de los sistemas BAC.

La metodología se basa en estándares existentes (normas europeas EN15232 y EN15500). Adicionalmente, una etiqueta energética basada en la norma EN15232 complementa la certificación eu.bac europea. Esta certificación garantiza a los usuarios que los productos y sistemas se ajustan a las directivas europeas y las normas: EN 15500, 15232, Directiva EPBD, con el fin de lograr el equilibrio óptimo de los controles y sistemas de automatización de edificios nuevos y edificios existentes.

El potencial de ahorro de energía y los aspectos del ciclo de vida que se pueden lograr a través de la automatización de edificios no son considerados de forma suficientemente exhaustiva en las certificaciones de sostenibilidad de edificios actuales como LEED, BREEAM, etc. El método del sistema eu.bac solventa esta carencia de estas certificaciones.

En resumen, los sistemas de zonificación y control optimizan el funcionamiento de los sistemas de climatización y garantizan el confort del edificio, lo que contribuye a conseguir una serie de puntos en categorías relacionadas con energía, confort y bienestar, ventilación y calidad de aire interior, salud, contaminación, etc., en los diferentes métodos descritos. Por ejemplo, en LEED puede llegar a conseguir hasta 21 puntos en algunas categorías de Calidad del Aire Interior y Energía y Atmósfera. Con el certificado por eu.bac se consigue una precisión de control de 0.3 K, tanto en términos de refrigeración como de calefacción, lo que garantiza en el método de cálculo definido en la norma UNE-EN 15232:2014 obtener resultados de consumos más favorables que con sistemas sin este certificado. A continuación se propone el caso de estudio de la influencia del sistema zonificado en el certificado BREEAM.

### 4. Certificado BREEAM con Airzone. Caso de estudio.

El objetivo es demostrar mediante los resultados de las simulaciones como al incluir la tecnología Airzone en un proyecto de edificación puede mejorar la puntuación obtenida en la certificación BREEAM en las categorías: Salud y Bienestar, Energía y Contaminación.

#### 4.1. Descripción del modelo de control, edificio y los sistemas.

Debido a la particularidad del sistema de control zonificado y los algoritmos que incorpora, se ha modelado con el programa TRNSYS17, que permite programar soluciones singulares y una integración flexible con el edificio y el resto de sistemas. Sobre esta plataforma de cálculo, se han implementado los modelos matemáticos de todos los sistemas de climatización definidos en el apartado anterior. Estos modelos se han obtenido a través de los ensayos experimentales de un equipo de expansión directa en una doble cámara climática. La idea es la de determinar el comportamiento del equipo dentro del rango de condiciones trabajo a las que se va a ver sometido en una instalación real. Así, conseguiremos un buen acoplamiento entre edificio y sistema.

El modelo de control se explica con más detalle en la figura 6, en la que se especifican los parámetros, entradas y salidas requeridas del modelo.



Figura 6. Parámetros, entradas y salidas del modelo de control.

Como se puede observar, el modelo requiere como parámetros la información específica tanto del equipo de expansión directa (capacidades, consumos, velocidades del ventilador, etc.), como información necesaria para el sistema de control de Airzone (número de zonas, definición del Q-adapt, del Eco-Adapt, etc.). Las entradas más relevantes tienen que ver con las necesidades térmicas de cada una de las zonas del edificio que estarán relacionadas con la demanda térmica, así como la temperatura de consigna en cada zona, las condiciones de temperatura y humedad de la zona, el estado de cada compuerta (abierta o cerrada), las condiciones exteriores, etc.

La vivienda simulada en las localidades de Madrid, Valencia y Barcelona. Como se puede comprobar, la vivienda presenta cinco zonas climatizadas (Salón, cocina, oficina, dormitorio padres y dormitorio niños), con una superficie de 121 m<sup>2</sup>, y el resto se considerara una única zona no acondicionada. En la figura 7 se muestra el esquema en Trnsys y la vivienda.

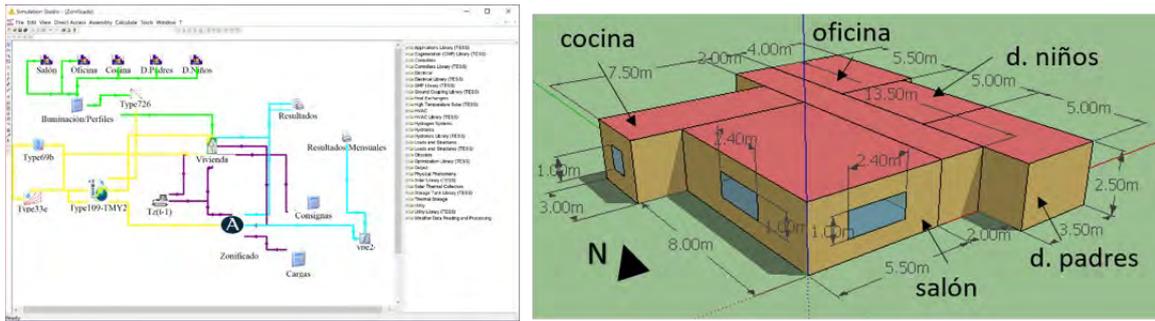


Figura 7. Esquema del modelado en Trnsys y de la vivienda en GoogleSketchup.

Se realiza el modelado de un equipo inverter de expansión directa. Para caracterizar el comportamiento del equipo hay que tener en cuenta que el modo de funcionamiento, el rendimiento del equipo y el consumo eléctrico requerido es diferente en función de las condiciones de operación. Con este objetivo, se ha experimentado una unidad de este tipo y se han obtenido las diferentes curvas de comportamiento características con los coeficientes correspondientes.

Un equipo Inverter es capaz de regular su régimen de trabajo para ajustar la producción de energía térmica a la demanda. Se define el factor de carga parcial (PLR) como la relación entre la carga sensible demandada y la máxima que el equipo es capaz de proporcionar en las mismas condiciones de trabajo:

$$PLR = Q_{dem} / Q_{sens,max} \quad (1)$$

La figura 8 representa los 3 regímenes de trabajo de un equipo inverter con la evolución del rendimiento del equipo en función del factor de carga parcial.

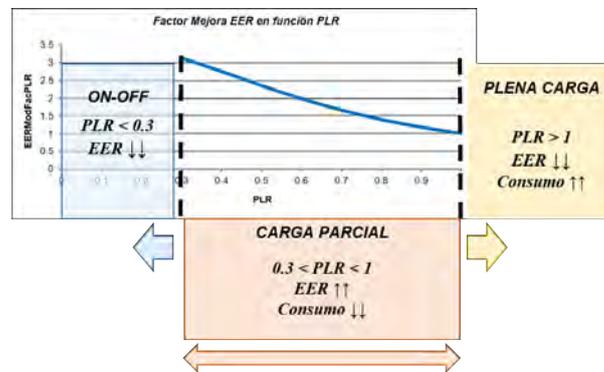


Figura 8. Esquema de los distintos regímenes de trabajo de un equipo Inverter.

Los regímenes de trabajo son los siguientes:

- Para valores de PLR inferiores a 0.3, como el flujo másico de refrigerante no puede hacerse arbitrariamente pequeño, existe una velocidad mínima para la cual el equipo deja de funcionar como un sistema Inverter, para convertirse en un todo-nada.
- Con PLR entre 0.3 y 1, el equipo trabaja a carga parcial y se obtienen valores de EER elevados.
- Con PLR mayores que la unidad, el equipo trabaja a plena carga y se produce una disminución importante del rendimiento.

## 4.2. Resultados.

A continuación, se muestran los siguientes resultados de las simulaciones:

### Contaminación. Impacto de los refrigerantes.

En la categoría de Contaminación, en el requisito “Impacto de los refrigerantes” hay disponibles hasta 4 puntos. Se va a demostrar cómo la zonificación térmica permite reducir la carga térmica del edificio lo que implica poder utilizar una máquina de menor potencia, lo que da lugar a menor uso de refrigerante.

En un sistema no zonificado, la red de distribución no dispone de ningún elemento que nos permita tratar por separado las necesidades de cada zona. Así, para asegurar la posibilidad de cubrir la carga punta en todas ellas, la potencia nominal del equipo debe tomarse igual o superior a la suma de cargas sensibles puntas de las zonas, aun no siendo simultáneas. Por el contrario, en un sistema zonificado, la red de distribución de aire dispone de compuertas motorizadas que permiten ajustar el aporte térmico del sistema a la demanda de cada zona por separado. De esta forma, el equipo debe dimensionarse teniendo en cuenta la máxima carga sensible simultánea de las zonas, es decir, para cada paso de tiempo, se suman las cargas de todas las zonas y el equipo se dimensiona a partir del máximo anual para refrigeración y calefacción.

En base a esto, para el caso de estudio, la zonificación la selección de equipos de climatización en el sistema zonificado se ajusta a la carga térmica simultánea y la potencia requerida, lo que permite usar equipos de menor potencia térmica. Se pasa de una máquina de PUAZ-RP125 de Mitsubishi, con una carga sensible nominal de frío de 8610 W y de 13900 W a una PUAZ-RP100GA de Mitsubishi, con una carga sensible nominal de frío de 6720 W y de 10300 W de calor, lo que implica una reducción en la cantidad de refrigerante utilizado de 0.5 kg, ya que se pasa de una carga de 3.8 a 3.3 (kg), con una longitud máxima de tubería de 50 m y diferencia de altura de 30 m.

### Energía. Eficiencia energética y emisiones de carbono.

En la categoría Energía el requisito “Eficiencia energética y emisiones de carbono” dispone de hasta 15 puntos para reconocer aquellos edificios diseñados para minimizar el consumo de energía operativa. Sin entrar en profundidad en los puntos que se pueden conseguir, gracias al algoritmo Eco-Adapt que limita la temperatura de consigna y a la gestión de la instalación de climatización que realiza el sistema, conseguimos un ahorro en el consumo energético y por tanto una reducción de emisiones de carbono. A modo de ejemplo, para el caso de estudio, se evalúa el potencial de ahorro de energía del algoritmo Eco-Adapt para las tres ciudades de análisis (figura 9).

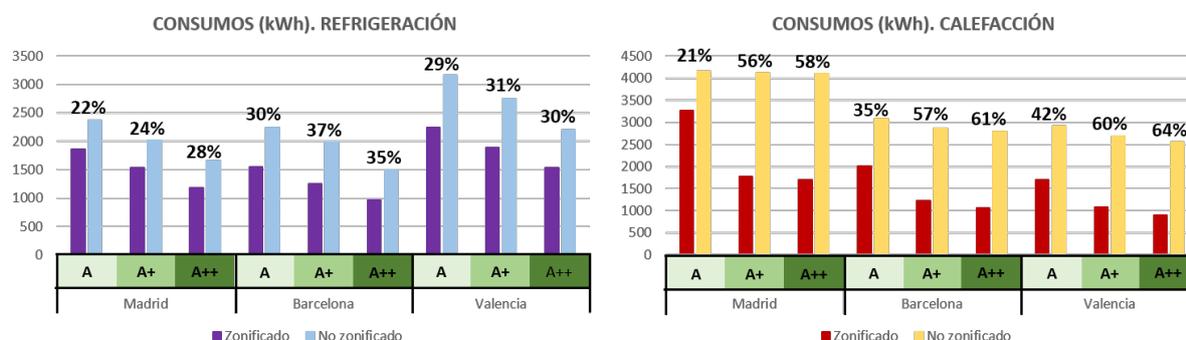


Figura 9. Comparativa del consumo de energía.

Con la aplicación del algoritmo Eco-Adapt se consigue una disminución del consumo de energía según si se aumenta la temperatura de consigna en modo refrigeración o se disminuye en modo calefacción. Los ahorros son del 56-64% en calefacción y del 24-37% en refrigeración, en las diferentes ciudades analizadas.

### Salud y Bienestar. Confort térmico.

En la categoría Salud y Bienestar hay disponibles hasta 3 puntos en el requisito de “Confort térmico”. Fundamentalmente se basan en el cálculo de los parámetros de confort PPD y PMV y que se cumpla la categoría B de confort, según la UNE-EN ISO 7730. Para ello, en unas condiciones estándar de confort asociadas al factor de ropa, la tasa metabólica y la velocidad relativa del aire, se realiza una comparación de los parámetros PPD y PMV de un sistema zonificado y un sistema no zonificado.

El PMV (predicted mean vote) es un índice que refleja el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas respecto de una escala de sensación térmica de 7 niveles al ser sometidos a diferentes ambientes térmicos, basado en el equilibrio térmico del cuerpo humano. El índice PPD (predicted percentage dissatisfied) suministra información acerca de la incomodidad o insatisfacción térmica, mediante la predicción cuantitativa del porcentaje de personas que, probablemente, sentirán demasiado calor o demasiado frío en un ambiente determinado. El PPD puede obtenerse a partir del PMV. Conforme a la norma, los valores recomendados para proporcionar bienestar térmico global al 90% de los trabajadores comprenden un valor de PPD < 10%

En la figura 10 se muestra la comparación del parámetro PPD y el PMV, destacando la categoría de confort obtenida.

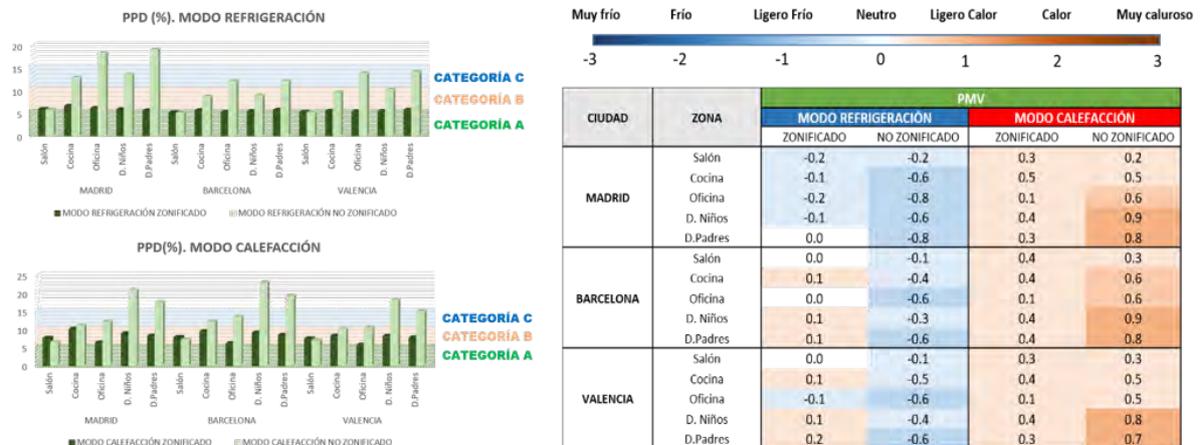


Figura 10. Comparativa del PPD y PMV.

En un sistema zonificado se cumplen las exigencias de confort que exigen una categoría mínima de B con un PPD en torno al 6% y un PMV por debajo de 0.5, en cada una de las zonas de la vivienda para las tres ciudades analizadas., mientras que el sistema sin zonificar es capaz de obtener buenos resultados en la zona del Salón pero el resto de zonas se produce un importante subenfriamiento de las zonas en modo refrigeración y sobrecalentamiento en modo calefacción.

### CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra las ventajas del sistema de control de climatización zonificado de Airzone en términos de consumo de energía, confort térmico y ahorro en

refrigerante con respecto a un sistema no zonificado, en un edificio de viviendas y sometido a diferentes condiciones climáticas. Se ha realizado una modelización térmica del edificio, sistema de climatización y sistema de control mediante el software Trnsys17. El modelo del sistema de control se adapta de forma flexible a poder introducirse en otros softwares de simulación energética de edificios para, de esta manera, adaptarse a normativas europeas que exigen evaluar el efecto de los sistemas de control en el comportamiento térmico de los edificios.

Los resultados del estudio demuestran las ventajas de un sistema zonificado para la posibilidad de obtener una certificación BREEAM del edificio, aportando hasta 22 puntos en total, en áreas clave como Energía, Salud y Bienestar y Contaminación con respecto a un sistema de climatización no zonificado. En primer lugar, la zonificación térmica permite reducir la potencia del equipo de climatización, por lo que se reduce la cantidad de refrigerante en 0.5 kg. La regulación de la temperatura de consigna de la máquina y la limitación de las consignas de temperatura de las zonas a través del algoritmo Eco-Adapt permite obtener ahorros del 56-64% en calefacción y del 24-37% en refrigeración, en las diferentes ciudades analizadas. Finalmente, en un sistema zonificado se cumplen las exigencias de confort que exigen una categoría mínima de B con un PPD en torno al 6% y un PMV por debajo de 0.5, en cada una de las zonas de la vivienda para las tres ciudades analizadas.

## REFERENCIAS

Afroz Z., Shafiullah GM, Urnee T., Higgins G. Modeling techniques used in building HVAC control systems: A review. *Renewable and Sustainable Reviews* 83 (2018): 64:84.

Ferdyn-Grygierek J., Grygierek K. HVAC control methods for drastically improved hygrothermal museum microclimates in warm season. *Building and Environment* 149 (2019): 90-99.

Google Sketchup. <https://www.sketchup.com/es> (último acceso 15.02.19)

Ponterosso P., Gaterell M., Williams J. Post occupancy evaluation and internal environment monitoring of the new BREEAM “Excellent” Land Rover/Ben Ainslie Racing Team headquarters offices. *Building and Environment* 146 (2018): 133-142.

Shi J., Yu N., Yao W. Energy efficient building HVAC control algorithm with real-time occupancy prediction. *Energy Procedia* 111 (2017): 267-276.

Smith M., Ardehali T.F.. Literature review to identify existing case studies of controls-related energy-efficiency in buildings. Department of Mechanical Engineering, The University of Iowa, Iowa. Technical Report ME-TFS-01-007 (2001).

Suzer O. Analyzing the compliance and correlation of LEED and BREEAM by conducting a criteria-based comparative analysis and evaluating dual-certified projects. *Building and Environment* 147 (2019): 158-170.

TRNSYS 17. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/> (último acceso 15.01.19).

UNE-EN ISO-7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.

UNE-EN 15500:2010. Regulación para aplicaciones de calefacción, ventilación y climatización. Equipo electrónico individual de regulación de zona.

UNE-EN 15232:2014. Eficiencia energética de los edificios. Impacto de la automatización, el control y la gestión de los edificios.

**Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: José Miguel Peña Suárez

Teléfono: +34 902 400 445

Fax: +34 902 400 446

E-mail: [jmpena@altracorporacion.es](mailto:jmpena@altracorporacion.es)

**Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.



José A. Ondiviela  
Universidad Francisco Vitoria - Madrid  
Microsoft – Western Europe

## **BEYOND SMART CITIES 2.0: HOW TO CREATE AN ATTRACTIVE CITY FOR TALENTED CITIZENS**

### **Summary**

Cities are taking the key role as Centers for Human Development. There is a hidden, bloodless, but fierce competition to attract the “creative class” people, those who will rule the Innovation led by 4th Industrial Revolution.

So, Cities invest on technology (SmartCities) to make cities more Attractive for talented Citizens. But Attractiveness is a personal decision, and it includes an Emotional Component vs a Rational component. We can say that City Attractiveness is made of City Magnetism (emotional share) and City Profitability (yield or rational share).

City Magnetism. Conditions that make you like/love the City. Mostly permanent, slow-movers / not easy to quickly change or evolve conditions. To significantly change them, city managers must invest on a City Transformation Plan along more than ten years.

City Profitability (Yield). Conditions that make you value the City Performance. Relatively easy and fast to impact on. Problem is how to prioritize, integrate them all into a Comprehensive Strategy. City leaders should invest on a City Improvement/Quick Transformation Plan along a minimum of two years. City Profitability (Yield) is made of: SERVICES to obtain from City (Living in the City) / COST OF LIVING in that City. We name this your CITIZENSHIP CONTRACT, or virtual implicit act between you and your city.

140 Top WW Cities are analyzed to help citizens choose those which better fit their scale of values (services) and preferences and help City leaders to transform their cities to become the most attractive possible. Some talented citizens surveys tell us about which services and preferences are the most demanded as a guide.

**Key words:** *SmartCities; Attractiveness; Magnetism; Profitability; Citizenship Contract;*

**Theme Area:** *Ciclo de vida de la ciudad y sus construcciones. City Life Cycle.*

### **1. Intro**

Cities are taking the key role as Centers for Human Development. There is a hidden, bloodless, but fierce competition to attract the “creative class” people, those who will rule the Innovation led by 4th Industrial Revolution. Main today cities challenges which should be addressed by intensive use of technology are:

- Impact of Technology. Industry 4.0. Non-creative jobs potentially replaced by robots. Recent studies show that only 30% of global work force enjoys a creative job. On the other hand, most new jobs are creative.

- People Aging. How to maintain welfare society without increasing costs, taxes. With a worker:pensionist ratio approaching 2:1 and rampant increase of demanding services, technology is the only way to reduce the number of medical service visits and keep elder people healthy, but at home.
- Financing. Avoid Taxes Fraud. Cashless Cities. With 4t\$ global public Sector debt, more funding is needed by governments. Increasing taxes leads to a double negative effect: increasing poverty and pushing rich citizens out of country. Then, clear alternative is combating fraud, using technology. All purchases and use of money should be electronic transactions, as they are traceable and implies taxes payment. Cash has no sense.
- Power shift to DATA. Controlling the World. Sensoring. IoT. Every hour, we get 1 million more devices connected to Internet. Cities are being sensorized and available data will soon reach 180 Zb (1 Zb =  $10^{21}$  bytes). Data is pure gold for cities, as existing services can be analyzed and improved, and new services can be deployed because of this data availability.
- Efficient IT Systems / Reduce Costs. Embrace Public Cloud. Providing same services, but from a more cost-effective, secure platform can only be achieved by leveraging the modern public Cloud datacenters.
- Mobility on duty: Empower Civil servants. Place them closer to citizens. 50% of current civil servants could telework.
- Citizen at Center: Communicating/Listening to citizens (Social Networks, Online). SoftPower (opinions, trends, City Co-Creation). Citizens are served by new applications using data, but they don't participate. They are just passive actors consulted once every 4 years. A Copernican shift is needed, placing citizens at center of all city activities and data around, servicing them. But citizens are reluctant to allow external applications to work in their smartphones due to all commercial companies aggressive behavior.
- Urban Mobility. Traffic, Intelligent transportation. Urban mobility is considered the most important city service as it connects people and businesses. From the ontology point of view, a city is a place where people meet. Urban mobility makes that happen.
- Safety. Threats (Terrorism, Natural Disasters). Resiliency. We live under terrorist threat and natural disasters impact is still significant, regardless of all the technology put in place to mitigate and predict them.
- Environmental Sustainability (Energy Efficiency, Water Care, CO2 Emissions-Carbon Neutral). A modern city must have a clear Carbon Neutral or CO2 emissions reduction plan. Non Green cities won't be attractive.
- Citizens Trust (CyberSecurity, Privacy, Compliance, Transparency). GDPR. Data privacy is considered a must-have. European GDPR sets strict rules and fines for those non-compliant.

City Prosperity recipe = 3T (Technology, Talent, Tolerance). Every Industrial revolution has been led by a disruptive technology attracting talented citizens. A tolerant place allows this flow of people to happen. Final combination of these three T's, with special relevance place to Technology has resulted on well known cities prosperity.

SmartCities use Technology to transform/improve Cities. SmartCities 1.0 used technology to solve internal city problems, like taxation, tasks, procedures. SmartCities 2.0 places Data/Control as Center of Efficiency with Citizens as mere spectators. Data is king here and cities are sensorized. Most advanced cities are currently at this stage. SmartCities 3.0 means a deep shift, placing back the Citizens at the Center, with Technology as enabler to help them build / own the City again. SmartCities 4.0 points to the utopia of Citizen's community,

like a beehive, with collective dynamic city co-creation. Then, the new name of the game is how to make cities Attractive for Citizens.

We can say that City Attractiveness is made of City Magnetism (emotional share) and City Profitability (yield or rational share). Emotional Component vs Rational component.

City Magnetism. Conditions that make you like/love the City. Mostly permanent, slow-movers / not easy to quickly change or evolve conditions. To significantly change them, city managers must invest on a City Transformation Plan along more than ten years.

City Magnetism can be approached by:

- a. PreConditions: Language, LandScape, Religion
- b. Identity (Past): History, Govern Type basics, Reputation, GeoLocation Conditions (Climate, Natural Risks, WW Influenced GDP reach), Food/Gastronomy, Virtual/Projected Identity (Movies, International Events/Sports)
- c. Dynamism (Present): Creativity, Competitiveness, Expats Experience, Human Positive Attitudes and Ethics, Equality
- d. Strategy (Future): Human Capital, Youth, SmartCity Plan (15 Areas to assess), Innovation

City Profitability (Yield). Conditions that make you value the City Performance. Relatively easy and fast to impact on. Problem is how to prioritize, integrate them all into a Comprehensive Strategy. City leaders should invest on a City Improvement/Quick Transformation Plan along a minimum of two years. City Profitability (Yield) is made of: SERVICES to obtain from City (Living in the City) / COST OF LIVING in that City. We name this your CITIZENSHIP CONTRACT, or virtual implicit act between you and your city.

- a. SUM of Services from City: 10 groups: Governance, Education, Employability, Connected City, Health/SocialServices, Sustainability, Culture/Tourism, Urban Mobility, Urban Planning, Safety.
- b. Divided by Cost of Living: Over the average wage, we must deduct Direct Taxes and Social Contributions. Then, with your pocket money you pay Indirect Taxes and you can buy different goods depending on the city Cost of Life (NYC=1). In fact, this is your Net Purchase Power.

## **2. Objectives**

Intention is not to make yet another cities ranking, but:

- Help Citizens to choose the best city in the world to realize their full potential, achieve their goals as a Citizen and Person, and make the greatest possible contribution to the society.
- Advice Majors and City Managers on how to create the most possible attractive City to retain and attract talented Citizens and build a more prosper, innovative, fair and human City. Help them Design a Long-term Transformational Plan and a Short/Mid-term Improvement/Integrated Plan

## **3. Methodology**

140 Top WW Cities are analyzed to help citizens choose those which better fit their scale of values (services) and preferences and help City leaders to transform their cities to become the most attractive possible. Some talented citizens surveys tell us about which services and preferences are the most demanded as a guide.

### City Magnetism:

59 Indicators (Self-made from open sources / Selected from Universities, International Bodies, Key Actors already published Studies/Analysis).

Each selected City SmartCity (140) Status Analysis from City Web, SmartCity published Plan.

### City Profitability (Yield):

32 Indicators (Self-made from open sources / Selected from Universities, International Bodies, Key Actors already published Studies/Analysis)

### Other info sources. Surveys.

Survey to 5.000 NordicEdge Stavanger (Norway) Sep2018 attendees.

Survey to 21.300 SmartCity Expo Barcelona Nov2018 attendees.

### Sample Size:

Main Most Attractive 140 World Cities. Selection Criteria: Top at Quality of Living (Mercer) AND Cities in Motion (IESE) AND Over 50 at Liveable Cities index (The Economist)

Like any good/useful indicator, all info included from external studies/rankings must comply with some basic principles: It must be Benchmark-able, Repeatable, data acquisition cost trending to zero, facts/data-based (no surveys, rumors, opinions, subjective topics), relevant, fair, manageable, so we can compare apples to apples (based on cities on same situation)

### Reliability:

Medium on City Magnetism. High on Profitability.

Intention is not to develop a Scientific Analysis, but a Human Sciences Study. Main topics will be weighted from Citizens input. Results will vary from Citizen to Citizen or different life status (age, dependencies).

Model obtained from two surveys will achieve: 95% Confidence, <5% Error

### Results

City Magnetism: Talented Citizens prefer strong City Dynamism (Vibrant Competitive Open Respectful). Identity (Past) is also very important (short distance), then Strategy (Future) is considered the least relevant (Future can be fixed...). Innovative EUR/AUS Cities are leading.

Identity (Past): Twofold Area: Preserving History/Culture while continuously investing on projected external Image. Good Geoposition is a clear advantage. TOP30 are Traditional European Cities. Reputation takes decades to be built, few days to get destroyed.

Dynamism (Present): Competitiveness/Vibrant/Creative vs ExpatCare vs Ethical vs Balanced/Equalitarian. CAN/AUS Leading, then EUR, then USA. USA as best Competitive. Best ExpatCare: SPA/POR/NZ/CAN/MEX/COL. Best Ethics and Equality: EUR/AUS/CAN.

Strategy (Future): Very much depends on Leadership and Funding Allocation. Not just only good Governance. Leaders: USA + SmartCity Leaders (CPH, HEL, STO, TEL). Youngest are ASIA/LATAM. HumanCap: USA, London, JPN. SmartCity Plans: EUR/AUS. Innovation: USA/KOR/JPN

City Profitability: Best Combined Profitability (Services x NetPurchasePower) at USA, CH, CAN, AUS.

Best in Services are at EUR (TOP20), then JPN, CAN, AUS, USA,...

Survey ran at SmartCityExpo (Barcelona Nov, 2018) among the 21300 attendees brought this scale of values/services from cities:

<b>CITY SERVICES - SCALE OF VALUES</b>	<b>1-10</b>
URBAN MOBILITY / TRANSPORTATION	10,0
SOCIAL SERVICES / HEALTH	9,0
SUSTAINABILITY / ENVIRONMENT	8,9
SAFETY (PHYSICAL/VIRTUAL)	8,4
EDUCATION	7,7
EMPLOYABILITY	7,1
URBAN PLANNING	4,8
GOVERNANCE	2,9
CONNECTED CITY	1,8
CULTURAL SERVICES / TOURISM	1,0

(Confidence: 95%. Error Margin 2,4%, N=1600)

Best NetPurchasePower (NPP) is enjoyed at USA, Qatar, CAN, CH, AUS. Best Wages found at CH, Nordics, USA, AUS,...Best final "Pocket Money" or Money After Taxes lands on CH, USA, AUS, CAN. Most Expensive Cost of Live are also at CH, Nordics, some USA, JPN Cities

Fall of myths (Best Services come from Nordics...true, but huge Taxes too).

Special guest stars: Apart from above best... Gulf, Asian Tigers (KOR,SGP,TWN,HNK), ISR

**CONCLUSIONS**

Sense of Belonging/Citizenship is stronger in cities with longer History/Culture. Feeling of "Proud of living here" is deeper on old cities than new "planned" cities. Community sense is stronger in smaller cities. Landscape, Language, Religion are positive/negative Magnets.

A low/little Magnetic City can be turned into strong if right political decisions are made. Leadership and Creativity are key. And a long-term Transformational Plan is needed.

Opportunity for midsize/non Capital cities (Very Good Services, Excellent Quality of Life). Consider VeryGood/Affordable vs Excellent/Expensive (like Good wine!!!). Opportunity for Emerging cities (fix the basics and enroll the global game!).

Challenge for old large cities. Burden of People Aging Costs encumbering new attractive services Investment.

Cloud Technology helps improve Cities yield, improving Services Performance while reducing their associated costs for citizens.

Best Possible City: Meeting Place for Humans (Understanding, Collaboration, CoCreation). Technology helps connect citizens to Cities, gathering their collaborative ideas/projects, developing their full potential.

## REFERENCES

Schwab, Klaus, "The Fourth Industrial Revolution". World Economic Forum. Penguin Random House, New York, 2016

Florida, Richard. "Who's your City". Basic Books. New York, 2008

Florida, Richard. "The Flight of the Creative Class". Collings. New York, 2007

Townsend, Anthony M. "Smart Cities", WW Norton Company, New York, 2014

Clark, Greg. "Global Cities", Brookings Institution Press, Washington DC, 2016

Creighton, James L. "La participación ciudadana en la era digital", CIVICITI, OpenSeneca, Barcelona, 2017

Smith, P.D. "City, A guidebook for the urban age". Bloomsbury, New York 2012.

Glaeser, Edward. "Triumph of the City". The penguin Press. New York 2011

Gehl, Jan. "Cities for People". Island Press, Washington DC, 2010

Campbell, Tim. "Beyond Smart Cities". Earthscan, New York, 2012

Florida, Richard. "The new urban Crisis". Basic Books, New York, 2017

Deakin, Mark. "Smart Cities", Routledge, New York, 2014

Montgomery, Charles. "Happy City" Penguin Books, New York, 2015

Barlow, Mike & Lévy-Bencheton, Cornelia, "Smart Cities Smart Future". Wiley, New Jersey, 2019

### **Correspondencia** (Para más información contacte con):

Nombre y Apellido: José A. Ondiviela

Teléfono: +34 609204279

Fax: + 34 913919001

E-mail: [joseondiviela@outlook.com](mailto:joseondiviela@outlook.com)

### **Cesión de derechos**

Por la presente, y como autor del trabajo mencionado arriba, cedo al Palacio de Ferias y Congresos de Málaga una licencia no-exclusiva irrevocable para imprimir, reproducir, distribuir, transmitir o comunicar de cualquier manera dicho trabajo, incluyendo el derecho

de hacer modificaciones de formato. Además, afirmo que esta cesión no lesiona los derechos de terceros.

