

## RENOVACIÓN URBANA DEL BARRIO CUATRO DE MARZO. RESULTADOS Y EXPERIENCIAS DENTRO DEL PROYECTO R2CITIES

Javier Antolín, Álvaro Corredera, Rubén García, José Luis Hernández, Cecilia Sanz-Montalvillo y Estefanía Vallejo <sup>1</sup>.

### ABSTRACT

El proyecto R2CITIES, financiado por la Comisión Europea dentro Séptimo Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y demostración bajo el contrato N° 314473, tenía como finalidad desarrollar y demostrar estrategias abiertas y fácilmente replicables para diseñar, construir y gestionar proyectos de renovación energética de distritos a gran escala, para conseguir ciudades de consumo cero en energía. El barrio del “Cuatro de Marzo” en Valladolid, es uno de los tres distritos demostradores en los que recientemente se han analizado los resultados obtenidos tras el año de monitorización de las intervenciones en materia de eficiencia energética implementadas en 13 bloques de viviendas. La innovación principal del proyecto fue la integración de medidas de alta eficiencia dentro de una metodología integral de renovación de distrito, para conseguir disminuir la energía consumida en un 55%.

Gracias a la metodología desarrollada en el proyecto, numerosos escenarios de renovación urbana se propusieron para mejorar el comportamiento energético de los edificios, que presentaban grandes deficiencias y un elevado consumo energético, fundamentalmente por la falta de aislamiento térmico tanto en fachada como en cubierta y la mala calidad de las carpinterías. Gracias al método de priorización basado en indicadores, se eligió el escenario implementado en los 13 bloques, 130 viviendas y 12.500m<sup>2</sup> de superficie construida.

Las acciones se pueden englobar en dos grupos, por un lado, la intervención en la envolvente térmica del edificio para reducir la demanda energética de calefacción y refrigeración, mediante colocación de un sistema de aislamiento térmico por el exterior (SATE) ( $U \leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), la adición de aislamiento térmico en las cubiertas hasta conseguir una transmitancia térmica del conjunto de  $U \leq 0,38 \text{ W/m}^2$ , y la mejora de las carpinterías por medio de sustitución o doblado de las mismas para alcanzar los requisitos de  $U \leq 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$  en orientaciones norte y  $U \leq 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$  en el resto.

En cuanto a la mejora de las instalaciones, se sustituyeron las calderas individuales existentes, por calderas de condensación ( $\text{COP} > 1,0$ ), se instalaron sistemas de iluminación LED y detectores presenciales en las zonas comunes del edificio, y sistemas centralizados de producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) mediante colectores solares en cubierta. Además, se instaló en el distrito, una marquesina con 34,8 m<sup>2</sup> de paneles solares fotovoltaicos (potencia instalada de 4,17 kW) para la recarga de vehículos eléctricos.

Tras la intervención, se ha realizado un profundo plan de monitorización energética y de confort interior de seis viviendas rehabilitadas, que ha permitido verificar los ahorros esperados.

*Palabras clave: Smart Cities, SATE, Rehabilitación, Eficiencia energética, monitorización, Evaluación, Ahorro, Indicadores de Sostenibilidad de Distrito (DSI)*

---

<sup>1</sup> Fundación CARTIF

## 1. BACKGROUND

El centro tecnológico CARTIF, en el año 2010 realizó una decidida y ambiciosa apuesta por el concepto Smart City. CARTIF, junto con los Ayuntamientos de Valladolid y Palencia, y con el objetivo de favorecer la unión entre ambas ciudades para desplegar proyectos de innovación, planteó un concepto revolucionario que aunaba a estas dos ciudades dentro de una misma iniciativa Smart City, denominado SmartCity VyP [1]. Ambas ciudades, capitales de provincia muy próximas entre sí, aunque de diferentes características, comparten ciertas industrias, servicios y Universidad. Por tanto, aunque con sus diferencias, afrontan problemáticas comunes y se encuentran fuertemente comprometidas a fomentar la creación primero y el fortalecimiento posterior de un ecosistema empresarial y académico, que unido a las Administraciones Públicas locales, sea capaz de identificar oportunidades de desarrollo cuyo principal resultado en los primeros años de despliegue de esta iniciativa fue el proyecto R2CITIES.

Esta iniciativa, que posteriormente en el año 2013 se transformó en una Asociación, se rige bajo un modelo colaborativo vertebrado por cinco ejes de actuación: logística y transporte, medio ambiente, energía, turismo y ciudadano. Su presidencia es ostentada por ambas ciudades, mientras que la secretaría ejecutiva, recae en el Centro Tecnológico CARTIF. Sin embargo, lo más importante son las más de 25 empresas, socios institucionales y académicos que forman parte de la misma. Otros resultados interesantes de la iniciativa Smart City VyP son los proyectos mySMARTLife y REMOURBAN, ambos de la convocatoria de proyectos faro Smart City del programa marco de financiación de la innovación H2020 u otros proyectos como URBANGREENUP, S2CITY, Transforming Transport o DIGIPAL, muchos de ellos también financiados por el mismo H2020.

El proyecto R2CITIES, financiado por la Comisión Europea dentro del Séptimo Programa Marco de investigación, desarrollo tecnológico y demostración bajo el contrato N° 314473, fue uno de los primeros éxitos de esta iniciativa. R2CITIES responde al tópico EEB.ENERGY.2012.8.8.3. Este tópico se engloba dentro de la convocatoria FP7-ENERGY-SMARTCITIES-2012, la cuál fue la primera convocatoria en la que la Comisión Europea identificó el concepto Smart Cities como prioritario, y, por tanto, sujeto a obtener financiación mediante tópicos en competencia competitiva en los que el principal foco eran las ciudades.

Es más, el concepto de rehabilitación energética a nivel de distrito es el objetivo principal de esta convocatoria, asociado a un desarrollo metodológico que permita asegurar que el escenario de intervención es implementado de acuerdo a una eficiencia en costes tanto en el diseño como en la ejecución de la intervención. Por tanto, R2CITIES, respondiendo a esta convocatoria, plantea un proyecto con dos líneas de ejecución que se despliegan en paralelo. Por un lado, la primera de ellas plantea un desarrollo metodológico para asegurar una construcción eficiente, adoptando conceptos de la metodología IPD [2] y realizando un seguimiento del diseño de la intervención y su ejecución utilizando tecnología BIM [3]. La segunda línea de ejecución plantea la demostración completa de tres rehabilitaciones energéticas, cuyo ámbito es un distrito completo, en las ciudades de Valladolid (España), Génova (Italia) y Kartal-Estambul (Turquía).

R2CITIES es un proyecto de reciente finalización. Su gran reconocimiento internacional, como proyecto ejemplarizante a la hora de plantear rehabilitaciones energéticas a nivel de

distrito queda patente en las numerosas publicaciones realizadas durante su desarrollo. Sin embargo, es en este momento en el que se puede certificar que los ahorros planteados como objetivo al comienzo del mismo han sido alcanzados de forma satisfactoria. En los siguientes capítulos se presentará el aspecto metodológico de R2CITIES, la ejecución de las intervenciones, su monitorización y evaluación y por último, se presentarán los resultados obtenidos en el demostrador situado en el Barrio del Cuatro de Marzo en Valladolid (España).

## 2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de identificar los posibles escenarios de intervención en un distrito, el proyecto R2CITIES desarrolló una metodología que se desplegaba en cuatro diferentes capas. La primera de ellas, la capa de gestión basada en IPD, involucraba a todos los actores participantes en el proceso en un modelo de compartición de información. La segunda de ellas, DSIs, plantea una serie de indicadores, desplegados a nivel de distrito, que permite la comparación del escenario pre- y post- intervención. La selección de estos indicadores, su agrupamiento y agregación permiten tener una referencia válida y única para valorar la sostenibilidad del distrito. El conjunto de indicadores se obtiene de la iniciativa de la EC<sup>2</sup> denominada SCIS (Smart City Information System<sup>4</sup>). R2CITIES propone que estos indicadores se agrupen en 6 categorías: indicadores de energía, confort, medio-ambientales, económicos, sociales y de ámbito urbano. Posteriormente una vez agrupados, estos permiten realizar la selección del escenario considerado como óptimo de esta intervención y finalmente, se agregan en un único índice de sostenibilidad de distrito (DSI). Los mecanismos utilizados para agrupar y agregar estos índices se basan en técnicas de soft-computing como la lógica difusa [5] y el mecanismo de toma de decisión empleado es topsis [6].

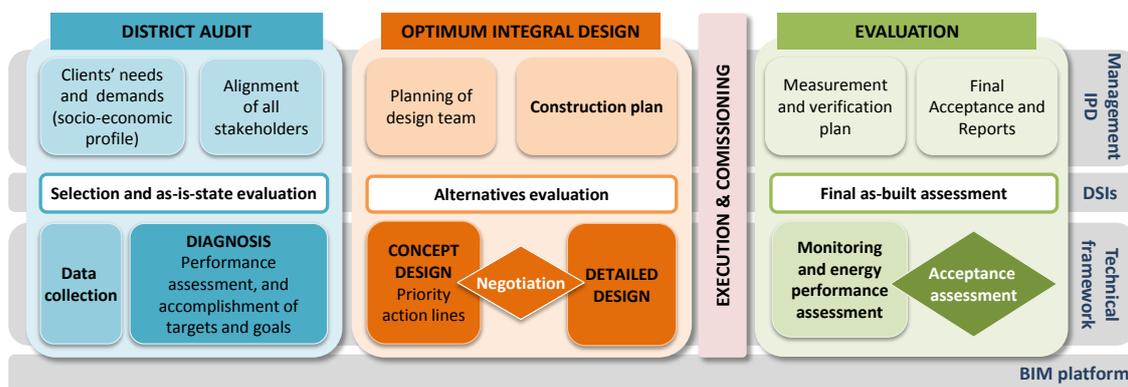


FIGURA 1. METODOLOGÍA DE R2CITIES

La tercera capa, capa tecnológica, se centra en recopilar toda la información que permite adoptar una mejor decisión, desde los datos de monitorización inicial si es que estos existen, pasando por los datos de las tecnologías a implementar, hasta los datos provenientes de monitorización que permitan evaluar el rendimiento de las acciones una vez implementadas.

<sup>2</sup> EC: European Commission, Comisión Europea

Por último, la última capa permite integrar toda la información intercambiada en estas fases mediante el establecimiento y uso de una plataforma BIM.

Esta metodología se despliega en las cuatro fases de cualquier proyecto de ejecución, desde la auditoría o análisis del estado inicial hasta la fase final de evaluación, pasando por las etapas de diseño conceptual, diseño detallado, ejecución de la intervención y comisionado de la misma.

### 3. DISTRITO 4 DE MARZO. CASO REAL DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

#### 3.1. Convocatoria de subvención

El Ayuntamiento de Valladolid, a través de la Sociedad Municipal de Suelo y Vivienda (VIVA) definió las bases de las convocatorias de subvención como máximo responsable de la gestión de la intervención de rehabilitación en el distrito, siguiendo dos principales premisas:

- La convocatoria de subvenciones debía ser pública, es decir abierta a todas las comunidades de propietarios de edificios residenciales que conforman el distrito.
- Los propietarios actuarían como promotores de la intervención en el edificio: cada comunidad de propietarios tenía el poder de elegir el responsable técnico del proyecto arquitectónico y la empresa que ejecutará finalmente las obras.

Se publicaron tres convocatorias de subvención, la primera en noviembre de 2014, la segunda en abril de 2015 y la última en junio de 2016.

Las bases de intervención que se han marcado en las diferentes convocatorias de subvención, han sido fijadas por los resultados obtenidos en la implementación de la metodología R2CITIES en el demostrador del Barrio del Cuatro de Marzo en la etapa de diseño integral para la selección de los escenarios de intervención.

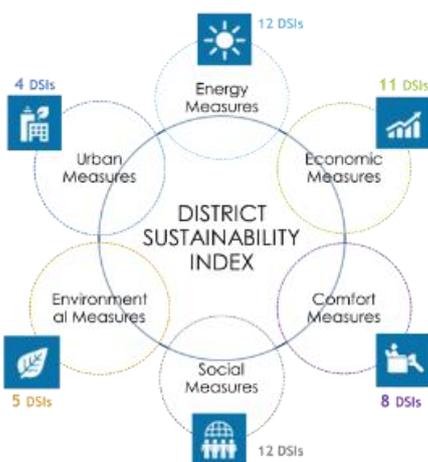


FIGURA 2. ÍNDICE DE SOSTENIBILIDAD DEL DISTRITO: DSI

El estudio de las posibles soluciones susceptibles de ser implementadas en el barrio ha englobado medidas de eficiencia energética e inclusión de energías renovables tales como: aislamiento de edificios con SATE o fachada ventilada, sustitución o colocación de una segunda ventana por el exterior, aislamiento de cubiertas, particiones interiores o suelos en contacto con el terreno, así como la instalación de calefacción de distrito alimentada con biomasa, colocación de válvulas termostáticas en radiadores, modernización de las calderas existentes de gas, instalación de colectores solares térmicos y/o fotovoltaicos, sustitución de luminarias en las zonas comunes por tecnología LED, y construcción de una marquesina fotovoltaica para recarga de vehículo eléctrico.

energéticas se han generado escenarios de intervención para los cuales se ha calculado el correspondiente DSI como combinación de indicadores individuales según indica la Figura 2.

Teniendo en cuenta los resultados del DSI para cada uno de los escenarios y los resultados de las dos primeras convocatorias de subvención, se definió la solución adoptada para la tercera y última convocatoria que el Ayuntamiento de Valladolid ofreció a los vecinos de Barrio Cuatro de Marzo, para así poder acogerse a la subvención que otorgaba para la rehabilitación energética de sus edificios. Una gran campaña de participación ciudadana se realizó con las Comunidades de Propietarios con el objetivo de identificar las barreras para acceder a la subvención en las dos primeras ocasiones, así como para afinar la definición técnica de la solución finalmente implementada.

Como resultado, los socios del demo español, el Ayuntamiento de Valladolid, CARTIF, ACCIONA y ONYX decidieron proponer una nueva intervención en Valladolid basada en las siguientes premisas:

#### Mejora de la envolvente térmica (medidas pasivas):

- Mejora del aislamiento de fachada ( $U = 0,266 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
- Mejora del aislamiento de cubierta ( $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
- Sustitución de ventanas o instalación de una doble ventana para mejorar el aislamiento térmico de huecos ( $U = 2,70 \text{ W/m}^2\text{K}$  Este/Oeste/Sur,  $U = 2,60 \text{ W/m}^2\text{K}$  Norte)

#### Mejora de las instalaciones (medidas activas):

- Sustitución de calderas antiguas, por calderas de condensación eficiente a baja temperatura con un rendimiento mínimo de COP 1,00.
- Instalación de un sistema centralizado de colectores solares para cada comunidad de vecinos, que cubrirá el 60% de la demanda de ACS en la comunidad.
- Instalación de un sistema de iluminación eficiente con detección de presencia y luminarias con tecnología LED.

Tras la implementación de las medidas activas y pasivas, el consumo de energía final promedio de cada edificio se limitó a un máximo de  $70,28 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

La tercera convocatoria de subvenciones públicas cerró con el resultado de 15 solicitudes por parte de comunidades de propietarios, de las cuales 13 fueron aceptadas en tiempo y forma.



FIGURA 3: LOCALIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES QUE SOLICITARON LA TERCERA SUBVENCIÓN (EN ROJO)

### 3.2. Marco de evaluación

El marco que se ha definido dentro del proyecto R2CITIES para evaluar el rendimiento y ahorros energéticos en el demostrador del Cuatro de Marzo en Valladolid una vez implementadas las correspondientes medidas de mejora está fundamentado en el protocolo internacional de medida y verificación de ahorros (IPMVP “International Performance Measurement and Verification Protocol”).

Este protocolo ofrece 4 opciones para desarrollar los planes de medida y verificación seleccionando la opción más adecuada en función de la consideración de una serie de factores como la disponibilidad o no de datos antes de las intervenciones, ahorros energéticos esperados, alcance de la intervención, etc.

Para el caso concreto del demostrador de Valladolid y teniendo en cuenta las peculiaridades de cada uno de los consumos energéticos a evaluar, se ha seleccionado en base al árbol de toma de decisiones definido por el protocolo IPMVP la opción más apropiada para cada caso. En el caso de la calefacción y dado que no existía información suficiente del periodo base de referencia, se ha decidido usar la Opción D del protocolo IPMVP, basada en una simulación calibrada. Esta opción nos permite generar un escenario base de referencia cuando éste no existe o no hay información suficiente disponible, generándolo en base a un modelo calibrado con datos post intervención del distrito.

La evaluación de los consumos de iluminación de las zonas comunes de los edificios, se ha basado en la opción B del protocolo, ya que se trata de medidas aisladas de las que se tienen datos de consumo reales antes y después de las intervenciones. Para el agua

caliente sanitaria, la evaluación se ha hecho en base a estimaciones considerando los datos del sistema de monitorización post intervención y los rendimientos de los equipos asociados a su generación antes y después de las intervenciones. Todas las opciones de evaluación, han sido definidas, considerando la extrapolación a nivel distrito.

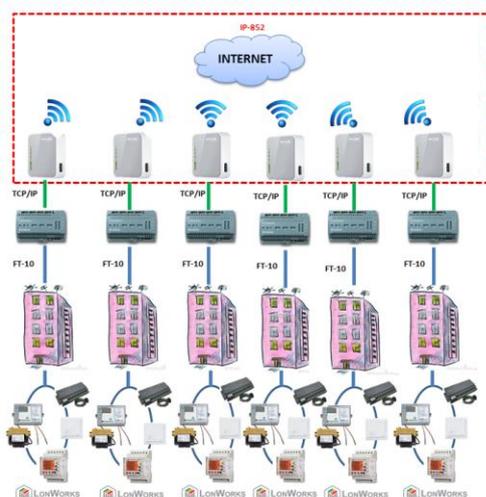
En la siguiente tabla, se puede ver un resumen del marco de evaluación considerado para cada uno de los consumos energéticos del distrito:

**TABLA 1: MÉTODO DE EVALUACIÓN SELECCIONADO PARA CADA UNO DE LOS CONSUMOS ENERGÉTICOS**

	Método de evaluación
<b>Calefacción</b>	IPMVP Opción D. Simulaciones calibradas con extrapolación a todo el distrito en base al clustering definido.
<b>Iluminación zonas comunes</b>	IPMVP Opción B. Monitorización de los consumos antes y después de las intervenciones en los edificios seleccionados y extrapolación a todo el distrito.
<b>Agua caliente sanitaria</b>	Estimaciones basadas en los datos de monitorización post intervención de las viviendas y edificios seleccionados y los rendimientos de generación asociados a los equipos antes y después de las intervenciones. Extrapolación a nivel distrito.

### 3.3. Estrategia de monitorización

Todos los edificios deben evaluarse para obtener el desempeño del distrito al final de la intervención. Para ese propósito, el monitoreo es fundamental, cuyo objetivo es recopilar información sobre energía y confort de las viviendas renovadas para extraer conclusiones relacionadas con el rendimiento energético final, así como la garantía de confort. Por lo tanto, se ha implementado un completo sistema de monitorización. El programa de monitoreo debe cubrir cuatro etapas: definición / diseño, instalación, puesta en servicio y operación.



**FIGURA 4: ARQUITECTURA DE MONITORIZACIÓN**

Para ello se diseñó una red de monitorización utilizando el protocolo de comunicaciones Lonworks. Esta red, (ver Figura 4) fue replicada de igual manera en los 6 edificios estudiados. La principal característica de esta red es la interconexión de los edificios a través de routers IP consiguiendo minimizar la inversión en equipos de monitorización ya que tan sólo se ha colocado un equipo maestro en uno de los edificios que se encarga de la recogida de datos de toda la red, así como que actuar de interfaz de conexión con la red Lonworks. Es decir, se ha implementado una red IoT con los 6 edificios seleccionados.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el despliegue de la red de sensorización de cada uno de los edificios. Como se aprecia, disponemos de un bus troncal Lonworks a lo largo tanto de las zonas comunes del edificio, así como de las viviendas monitorizadas, donde se interconectarán cada uno de los equipos de monitorización encargados de recoger los parámetros de monitorización. La red de sensores está compuesta por un router 4G que proporciona un red de internet individual dentro de cada uno de los edificios, a su vez este router

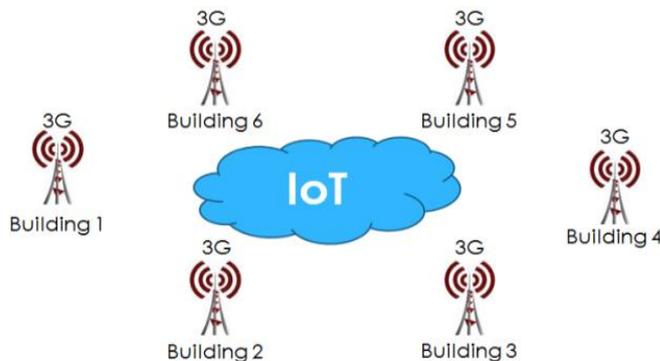


FIGURA 5: ARQUITECTURA DE MONITORIZACIÓN

es conectado al equipo principal dentro de la red de sensores que no es otro que un iLON600 encargado de interconectarse a través de IP al resto de edificios monitorizados, en uno de los edificios este iLON600 es sustituido por un iLON SmartServer, que además de las características que aporta el iLON600, éste actuará de equipo maestro dentro de la red, siendo el encargado de la recogida de datos así como actuar como interfaz de red a través de servicios SOAP.

Haciendo referencia a la red de sensores, la monitorización se ha dividido en dos zonas de actuación: zonas comunes e interior de la vivienda. En las zonas comunes se ha medido por un lado los consumos eléctricos de los usos generales, como son los consumos eléctricos en iluminación y bombas de impulsión de agua y por otro lado se ha medido el consumo energético de la instalación solar térmica ubicada en la azotea (Figura 9), para extraer de ese modo el aporte de las energías renovables.

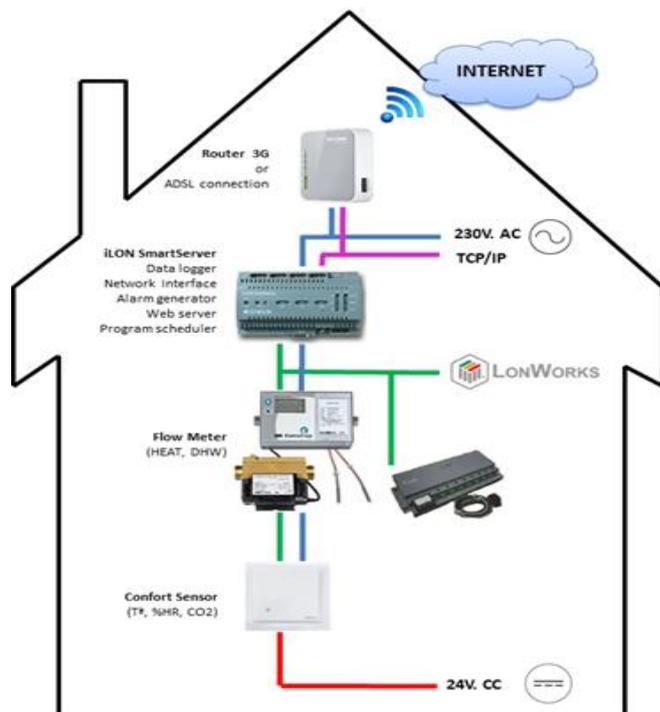


FIGURA 6: RED DE MONITORIZACIÓN EN CADA EDIFICIO

Referente al interior de la vivienda, a través de un sensor de confort ubicado en una de las estancias más significativas de la vivienda, se mide la temperatura ambiente, humedad relativa y concentración de CO<sub>2</sub> (ver Figura 7), además de medir en caldera tanto la energía térmica de la producción de calor como de la producción de agua caliente sanitaria (ver Figura 8).

En la Tabla 2 se muestran los equipos utilizados así como la frecuencia de recogida de datos de cada una de los sensores instalados en la red de monitorización.

TABLA 2: VARIABLES RECOGIDAS EN CADA EDIFICIO

Ubicación	Variable a monitorizar	Dispositivo	Frecuencia de recogida
Vivienda	Temperatura	WRF04 CO2 rH LON (Thermokon)	15 min
	Humedad Relativa		15 min
	CO <sub>2</sub>		15 min
	Energía calefacción	Kamstrup 602	Periodo agregado
	Energía Agua Caliente Sanitaria	Kamstrup 602	Periodo agregado
Zona común	Consumo eléctrico general	8108L 8 channel (NICO)	Periodo agregado
	Energía instalación Solar	Kamstrup 602	Periodo agregado



FIGURA 7: SENSOR CONFORT EN VIVIENDA



FIGURA 8: MEDIDOR DE ENERGÍA (CALOR Y ACS)



FIGURA 9: MEDIDOR DE ENERGÍA TANQUE PRODUCCIÓN SOLAR

Finalmente, las luminarias localizadas en las zonas comunes del edificio han sido sustituidas por un sistema de iluminación LED con sensores de presencia para controlar el encendido / apagado siendo otra medida de ahorro a considerar. Para este propósito, se ha instalado un vatímetro en el cuadro eléctrico general para poder acceder a la medición de los consumos eléctricos generales (ver Figura 10).



FIGURA 10: CUADRO ELÉCTRICO MONITORIZACIÓN

### 3.4. Procedimiento de selección de viviendas a monitorizar

Como se ha mencionado anteriormente, los datos son necesarios para realizar la correcta calibración y, así, poder desplegar el marco de evaluación. Sin embargo, la situación ideal de monitorización de todas las viviendas del distrito incrementa los costes. Por esa razón, se ha realizado una selección de viviendas representativas a través de minería de datos. En particular, las tres técnicas se resumen en:

- Sampling (o muestreo)<sup>7</sup> para obtener un primer filtrado de la población estadística. En este caso, de las 130 viviendas que se han renovado, 16 propietarios se presentaron como voluntarios (muestreo accidental).
- Clustering (o agrupación)<sup>8</sup>, de manera que se puedan agrupar viviendas con comportamiento similar. Es importante destacar que esta técnica se aplica sobre todas las viviendas, aunque, posteriormente, solamente se tendrán en cuenta las 16 voluntarias. Básicamente, el algoritmo determina las viviendas cuyo comportamiento térmico es similar acorde a ciertos parámetros.
  - Orientación de la fachada, teniendo en cuenta orientación al río (oeste) o norte, donde la humedad y vientos afectan en mayor medida.
  - Medianeras, cuyo efecto está relacionado con aislamiento o contribuciones térmicas debido a muros adyacentes.
  - Patios interiores, ya que se encuentran más protegidos de vientos.
  - Vivienda en bloque lineal o en manzana, con un concepto similar al anterior parámetro.
  - Altura de la vivienda.
  - Tipología de la vivienda, sobre todo en términos de área, siendo la demanda variable.

Como se ha mencionado, el clustering se aplica a todo el distrito, pero, de acuerdo al muestreo, solamente 16 viviendas forman la población estadística. De esta manera, el resultado para dichas viviendas se dispone en la Figura 11<sup>9</sup>. El paso final es la selección de 6 del total debido a restricciones presupuestarias. Este filtrado final se ha realizado en base a la facilidad de la instalación. Por motivos de privacidad, los detalles de las viviendas no se detallan en el presente artículo.

3 - Chapi 3 Vivienda 1	5 - Chapi 3 Vivienda 2	11 - Esteban Daza 2 Vivienda 1	19 - Esteban Daza 2 Vivienda 2
26 - Esteban Daza 6 Vivienda 1	39 - Granados 4 Vivienda 1	42 - Pº Don Juan de Austria 19 Vivienda 1	56 - Pº Zorrilla 178 Vivienda 1
65 - Pedro Mazuecos 1 Vivienda 1	78 - Sarasate 1 Vivienda 1	85 - Sarasate 4 Vivienda 1	100 - Sarasate 5 Vivienda 1
107 - Simon de Colonia 6 Vivienda 1	111 - Turina 16 Vivienda 1	116 - Turina 16 Vivienda 1	130 - Vicente Goicoechea 5 Vivienda 1

FIGURA 11: RESULTADOS DEL CLUSTERING

- Agregación<sup>10</sup>, cuyo objetivo es extrapolar los resultados de las 6 viviendas a todo el distrito, simplemente considerando que el comportamiento dentro de cada clúster es similar. Esta es la principal razón por la que clustering se aplica a todo el distrito

### 3.5. Desarrollo de las obras

Como se ha indicado anteriormente, y debido a los requisitos específicos de la convocatoria de subvención articulada por el Ayuntamiento de Valladolid, los propietarios de las viviendas han sido los responsables de seleccionar tanto responsable técnico del proyecto arquitectónico como empresa constructora a ejecutar las obras. En este caso las comunidades de propietarios de cada uno de los 13 edificios intervenidos han sido los encargados de asumir esta responsabilidad.

Cinco han sido las constructoras que se han hecho cargo de las obras de los 13 edificios del distrito: Copra<sup>11</sup>, Construcciones Carlos González, Kone y Triz, Crolec<sup>12</sup> y Engwe. Todas ellas se han enfrentado al mismo reto técnico y han cumplido las especificaciones marcadas por las bases de convocatoria, lo que ha permitido tanto a vecinos como a la administración, evaluar el éxito de implementación en cada uno de los casos.

En los trece edificios, además de los criterios energéticos marcados por la convocatoria de subvención, han sido relevantes los criterios estéticos fijados por el interés vecinal. Mantener la imagen del barrio, caracterizada por edificios con revestimiento de piedra en planta baja y ladrillo caravista en plantas superiores, era un requisito fundamental para

conseguir la aceptación social de la intervención por parte de los vecinos. Por este motivo se fijaron desde el Ayuntamiento los pantones a los que el acabado final del SATE ha



debido ajustarse.

FIGURA 12. EDIFICIO EN CHAPÍ 3 ANTES, DURANTE Y DESPUÉS DE LA INTERVENCIÓN

Además del color concreto al que ha de ajustarse el SATE, en alguno de los edificios se ha llegado incluso a imitar la solución estética del *aparejo a sogá*, característico de las fachadas de ladrillo caravista originarias del barrio, solución que ha llegado a alcanzar un elevado nivel de aceptación social en el distrito.



FIGURA 13. DETALLE DEL ACABADO EFECTO LADRILLO EN EL SATE EN EL EDIFICIO DE SARASATE 5

## 4. RESULTADOS

Aunque el principal resultado de la intervención en el Barrio del Cuatro de Marzo es el ahorro energético obtenido y su consiguiente impacto medioambiental, cabe destacar también las mejoras en el confort y habitabilidad del interior de las viviendas, el impulso tecnológico en las empresas de la región y el aumento de aceptación social de las intervenciones energéticas por parte de la población.

El aislamiento implementado en la envolvente de los edificios ha permitido que se hayan solucionado los problemas de condensaciones por puentes térmicos en fachadas que presentaban algunos de los edificios, así como ha permitido aumentar la temperatura de las estancias más frías hasta un punto de consigna al que anteriormente, sin aislamiento y con equipos obsoletos, los vecinos no podían alcanzar.

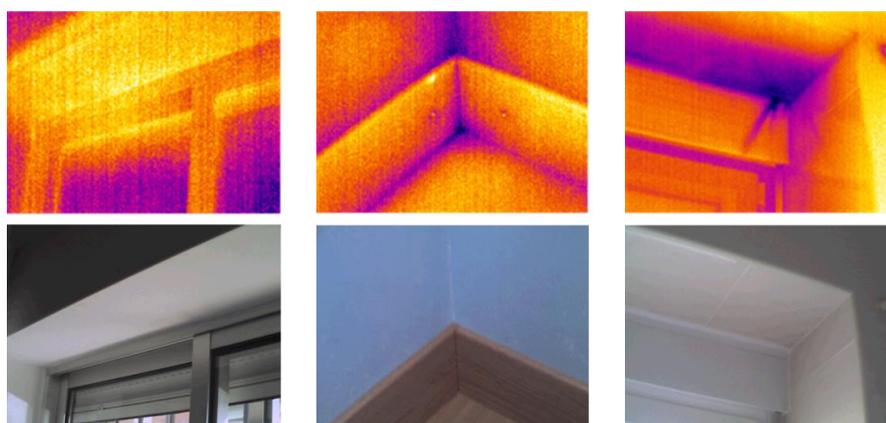


FIGURA 14. PUENTES TÉRMICOS EN LAS VIVIENDAS ANTES DE LA INTERVENCIÓN

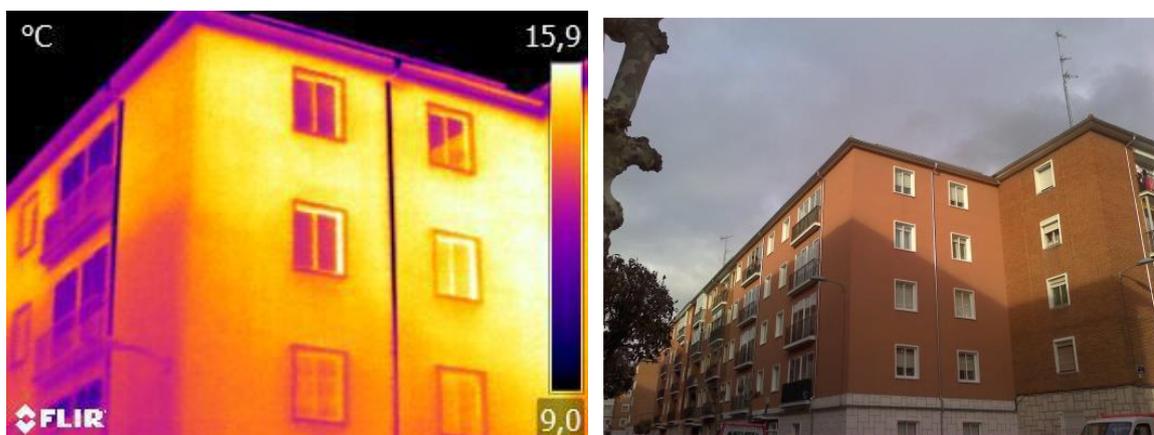
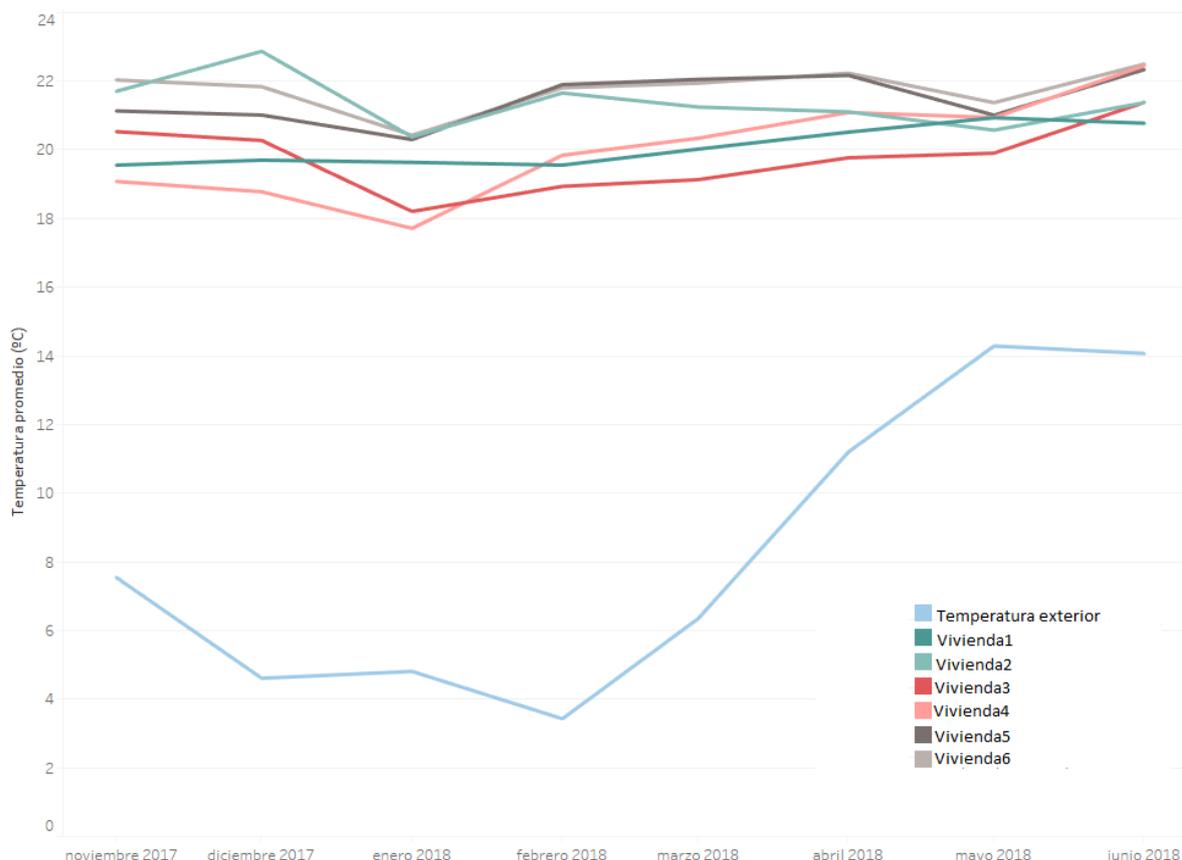


FIGURA 15. INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA EN EL EDIFICIO DE SARATE 5



**FIGURA 16. LA TEMPERATURA EN EL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS SE MANTIENE RELATIVAMENTE CONSTANTE TRAS LA INTERVENCIÓN ENERGÉTICA**

En la siguiente tabla, es posible ver un resumen de la demanda de energía, energía final y primaria, y emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> del distrito antes y después de las intervenciones con sus correspondientes ahorros conseguidos:

**TABLA 3: RESUMEN DE LA ENERGÍA Y EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DEL DISTRITO ANTES Y DESPUÉS DE LAS INTERVENCIÓNES**

	Antes de las intervenciones	Después de las intervenciones	Ahorros conseguidos
<b>Demanda energética [kWh/a]</b>	1.677.675	977.835	41.7%
<b>Consumo energético [kWh/a]</b>	2.321.089	1.092.675	52.9%
<b>Energía primaria [kWh/a]</b>	2.781.736	1.172.914	57.8%
<b>CO<sub>2</sub> [tons/a]</b>	586	247	57.8%

Y desglosándolo para cada uno de los diferentes consumos energéticos, podemos ver el impacto conseguido en cada uno de ellos:

TABLA 4: RESUMEN DESGLOSADO PARA CADA UNO DE LOS CONSUMOS ENERGÉTICOS DEL DISTRITO ANTES Y DESPUÉS DE LAS INTERVENCIONES

	Demanda energética [kWh/m <sup>2</sup> ]			Consumo energético [kWh/m <sup>2</sup> ]		
	Antes	Después	Ahorro	Antes	Después	Ahorro
<b>Calefacción</b>	120.75	61.70	49%	167.25	66.91	60%
<b>ACS</b>	22.82	22.82	0%	31.60	27.74	12.2%
<b>Iluminación áreas comunes</b>	11.84	5.47	53.8%	11.84	5.47	53.8%

También se ha analizado en detalle la demanda de ACS cubierta con el apoyo de los colectores solares para algunos de los edificios del distrito. Basado en el estudio realizado, se puede concluir que es posible cubrir en algunos casos más del 70% de la demanda de ACS con contribución solar principalmente durante los meses del periodo de verano, teniendo una contribución solar media anual de en torno al 45%. Esto es posible verlo para un caso concreto de estudio en la siguiente figura.

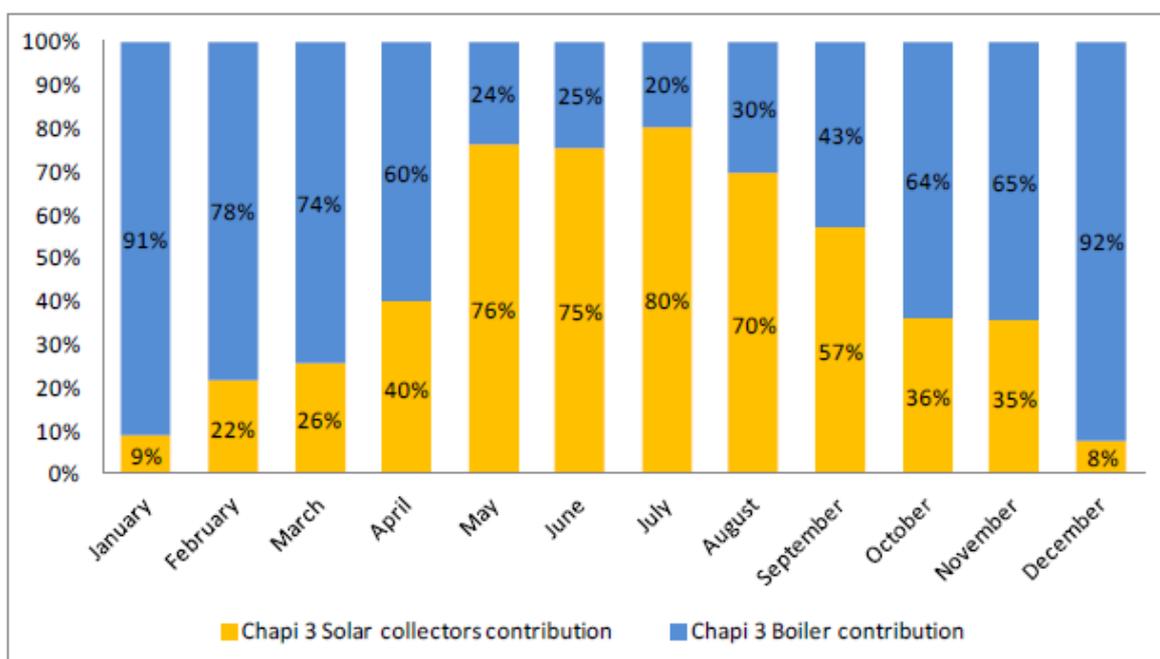


FIGURA 17: CONTRIBUCIÓN SOLAR PARA LA DEMANDA DE ACS PARA UN AÑO COMPLETO EN EL EDIFICIO DE ESTUDIO CHAPI 3.

Como resumen general, se puede ver cómo tras la implementación de las correspondientes mejoras en el distrito de Cuatro de Marzo, se han conseguido unos ahorros energéticos globales a nivel de distrito de en torno al 50%.

Mirando cada uno de los consumos desglosados, en términos de calefacción, se han conseguido unos ahorros en consumo energético de en torno al 60% debido a las mejoras

pasivas implementadas en los edificios y la mejora en la eficiencia energética de los equipos de generación asociados a la calefacción.

En términos de ACS el ahorro es algo menor, de entorno al 10% y es debido a la eficiencia de las nuevas calderas de condensación. Mediante los colectores solares se consigue además, que un alto % de ACS sea cubierto a través de fuentes de energía renovable, llegando incluso a superar en algunos meses de verano el 80%. Para iluminación se consigue un gran ahorro en consumo por encima del 50% por el uso de la tecnología LED mucho más eficiente que lo que había anteriormente.

Tras la etapa de monitorización que confirma el funcionamiento de los edificios renovados, y la de evaluación social con la que se ha trabajado directamente con los vecinos para ver su grado de satisfacción, se ha podido comprobar el éxito de las intervenciones.

Este éxito se confirma al constatar como dentro del mismo distrito, y no recibiendo ya financiación por parte del Ayuntamiento, se ha replicado la propuesta de renovación marcada por el proyecto R2CITIES en uno de los edificios del Barrio Cuatro de Marzo.

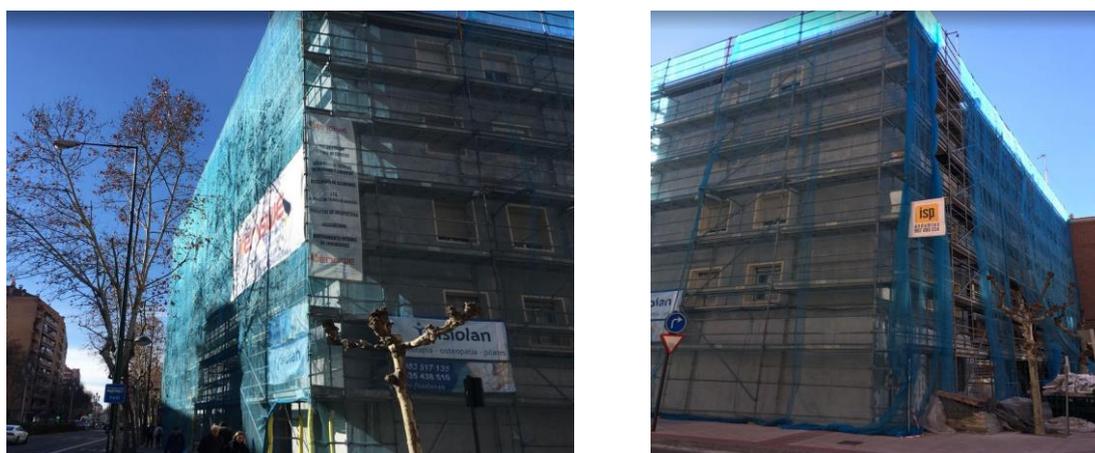


FIGURA 18. EDIFICIO (PASEO ZORRILLA 134) EN EL QUE SE HA REPLICADO LA SOLUCIÓN FUERA DEL PROYECTO R2CITIES

## 5. CONCLUSIONES

Echando la vista atrás, y evaluando las distintas etapas que ha tenido el proceso de intervención en el demostrador que en Valladolid ha tenido el proyecto R2CTIES, es interesante analizar como con todas las barreras que han ido apareciendo a lo largo de la ejecución del proyecto, finalmente se ha logrado implementar una renovación energética en los edificios que satisface tanto al equipo técnico que la diseñó como a los usuarios que disfrutaban de ella.

La definición técnica ha venido marcada por los requisitos del proyecto europeo, R2CITIES, pero ha tenido que ajustarse a las posibilidades que con el barrio diseñado en los años 50 y los vecinos propietarios de las viviendas se podían ejecutar. No hay que perder de vista que, aunque han recibido ayuda a través de las convocatorias de subvención del Ayuntamiento de Valladolid, los vecinos han tenido que aportar fondos propios para su ejecución, lo cual ha hecho necesario el diálogo con ellos para definir los alcances técnicos

que se podían asumir. El perfil social, fundamentalmente centrado en gente de avanzada edad, y el desconocimiento por parte de la mayoría del vecindario de las medidas de eficiencia energética, ha hecho necesaria una intensa labor de divulgación con el fin de involucrar al mayor número de vecinos posible.

Las constructoras participantes también han sido cruciales a la hora de implementar correctamente los trabajos siguiendo las prescripciones técnicas marcadas por el proyecto e implementadas en los requisitos a cumplir por la convocatoria de subvención. Ellas han tenido la oportunidad de ser las primeras en implementar las soluciones propuestas en su conjunto, pero también la responsabilidad de aprender nuevas técnicas que les permitan esta implementación de manera correcta.

Frente a otras actuaciones de este tipo en las que la ejecución de las obras recae en una única empresa constructora, en este caso se decidió que fuesen las trece diferentes comunidades de propietarios las que se encargasen tanto de la contratación de las obras como de los proyectos de ejecución. De esta forma se promueve que el impacto socioeconómico sea mayor al permitir intervenir un mayor número de empresas de tamaño pequeño y medio.

De este modo, y aunque al ser más los implicados en la rehabilitación energética se aumenta la dificultad de conseguir soluciones y acabados homogéneos entre todos los edificios participantes, también se permite obtener distintas soluciones para alcanzar unos requerimientos comunes que pueden aplicarse en futuras intervenciones de este tipo. Es decir, frente a la posible falta de homogeneidad surge el incremento de respuestas técnicas.

No solo las constructoras se han beneficiado del conocimiento adquirido en el proyecto y pueden replicarlo en su trabajo futuro. El promotor y gestor de las ayudas del Ayuntamiento, VIVA, ha obtenido valores económicos de repercusión por bloque que se han trasladado a estudios para la actuación en otras zonas de renovación urbana dentro del Municipio de Valladolid. Cabe destacar en este sentido que parte de las medidas aplicadas en el proyecto R2CITIES se han replicado en el ARU “29 de Octubre” (Figura 19), actualmente en ejecución en su primera fase.



FIGURA 19: REPLICACIÓN EN OTRO DISTRITO DE LA CIUDAD

---

<sup>1</sup> SMART CITY VYP: SMART CITY VALLADOLID Y PALENCIA. Iniciativa creada en 2010, formalizada como asociación en 2013.

<sup>2</sup> SCOTT, LL., FLOOD, C. AND TOWEY, B., T. *Integrated Project Delivery for construction*, 49<sup>th</sup> ASC Annual International Construction Education Conference proceedings, 2013

<sup>3</sup> EASTMAN, C., TIECHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. *BIM Handbook: a Guide to Building Information Modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors (1st ed.)*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2008.

<sup>4</sup> SCIS: Smart Cities Information System, <<https://smartcities-infosystem.eu/>>, former CONCERTO Technical Monitoring Database (TMD)

<sup>5</sup> TANAKA, K. *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, Springer, 1997

<sup>6</sup> YU-JIE, W., HSUAN-SHIH, L., *Generalizing TOPSIS for fuzzy multiple-criteria group decision-making*. Computers & Mathematics with Applications, 2007.

<sup>7</sup> HERNÁNDEZ, J.L., CORREDERA, A., GARCÍA, R., SANZ, C., SANZ, R., *Low cost monitoring network for Smart Cities*, IEEE Workshop on Environmental, Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS 2017), Milán, Italia, 24-25 Julio 2017.

<sup>8</sup> HARTIGAN, J. A.; WONG, M. A., *Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm*, Journal of the Royal Statistical Society, Series C (Applied Statistics) 28, pp. 100–108, JSTOR 2346830, 1979.

<sup>9</sup> HERNÁNDEZ, J.L., CORREDERA, A., GARCÍA, R., SANZ, C., SANZ, R., *A low-cost IoT monitoring system for Smart districts*. Global IoT Summit (IoT week) GloTS 2018, Bilbao, España, 4-8 Junio 2018.

<sup>10</sup> PIERCE, D., ACKERMAN, L. (2005), *Data Aggregators: A Study of Data Quality and Responsiveness*.

<sup>11</sup> SOLUCIÓN ESTÉTICA SATE HOUZZ <<https://www.houzz.es/projects/3042533/soluciones-innovadoras>>

<sup>12</sup> CROLEC <<http://www.crolec.es/noticias/07-04-2017/A-punto-de-terminar-R2CITIES/>>