

SENSORIZACIÓN Y PSICOLOGÍA SOCIAL APLICADA AL USO DE EDIFICIOS PÚBLICOS PARA LA MEJORA DE SU COMPORTAMIENTO

Irene Amigo Gamero (Universidad de Extremadura); Beatriz Montalbán Pozas (Universidad de Extremadura); Inmaculada Bote Alonso (Universidad de Extremadura); Mónica Victoria Sánchez Rivero (Universidad de Extremadura); Agustín Sánchez Domínguez (Universidad de Extremadura).

Palabras clave

Edificio público; sensorización; monitorización, consumo energético; usuario, participación social.

Resumen

Ante un parque inmobiliario, no sólo obsoleto sino también altamente insostenible energéticamente y que supone casi la mitad de la energía consumida en la Unión Europea con un coste social, ambiental y económico al alza, se plantea necesaria, y así lo reflejan las distintas directivas internacionales, la mejora del comportamiento energético de los edificios existentes. Para poder mejorar el uso de los recursos, es necesario analizar los distintos factores que intervienen en el consumo energético y de recursos naturales de los edificios. Para ello usaremos una metodología basada en el uso de elementos de sensorización de las variables de consumo y de condiciones ambientales, y del análisis de facturas energéticas. Uno de los factores críticos a tener en cuenta es la relevancia en el comportamiento del usuario del edificio, sus patrones, la interacción con el ambiente que le rodea, y los conocimientos que posee sobre la incidencia en el consumo de su propia actuación. Para ello se propone el acercamiento al usuario a través de encuestas de conocimientos y comportamientos, realizadas sobre grupos experimentales y teniendo como referencia un grupo de control aislado. Se define con ellas un perfil de usuario y en función de ello se elaboran campañas, diseñadas siguiendo teorías y estrategias de psicología social en función del perfil de usuario identificado, con las que se persuade y modela el comportamiento de los usuarios hacia modelos más activos y sostenibles. Una vez concluidas las campañas de modificación de conducta, se coteja mediante encuesta la incidencia de las mismas, y se analizan las variables energéticas y de consumo sobre las que se actúa, observándose cambios en el perfil de consumo. El objetivo de este artículo es aportar las bases para mejorar el comportamiento de los edificios a la vez que la eficiencia de los recursos con el análisis pormenorizado y sistematizado de las distintas variables edificatorias, así como de los patrones y perfiles de usuario, incorporando estrategias de actuación sobre variables y de persuasión sobre el usuario. En este objetivo se plasma la relevancia de las actuaciones sobre edificios de servicios y de carácter público que puedan ser germen de la mejora de los hábitos de uso de edificios de cualquier tipo, aumentando así el impacto de las actuaciones y la eficiencia de los recursos empeñados en las propias estrategias aplicadas.

1. Introducción

Según el último informe anual del estado de la eficiencia energética [1], los últimos años la intensidad energética final a paridad de poder adquisitivo de la energía en la UE ha disminuido de 0.115 ktep/€05p en el año 2000 a 0,090 ktep/€05p en 2015. Este hecho podría hacer pensar que el consumo de energía ha disminuido en todos los sectores en los últimos años, realidad que sólo es aplicable a los sectores de la industria y el transporte, donde la reducción de consumo ha sido considerable. Debido fundamentalmente a la crisis económica sufrida a partir de 2008; en el sector residencial

el consumo se ha mantenido estable desde 2011, y en el caso del sector servicios ha aumentado desde 2014 [2]. Además, se espera que el consumo en el sector edificatorio continúe aumentando [3].

En el caso de España, el ratio de intensidad final se ha reducido de 0.090 a 0.075 kwh/euro05p, por debajo de la media europea [4]. Asimismo, el sector edificatorio español supone el 31.1% del consumo de energía final, porcentaje que se encuentra estabilizado, pero el sector servicios cuya participación es del 12.5% se encuentra actualmente en crecimiento. De la energía consumida en el sector servicios el 27.7% corresponde a los edificios de oficinas, que ocupan unos 111.29 millones de m²; el 40.7% de lo consumido por el sector servicios es asociado al uso comercial, y el 2.4% al uso educativo [5]. Claramente, el parque construido del sector servicios español parece ser uno de los sectores clave para alcanzar los objetivos 2030. Se ha de destacar que el sector servicios edificado se encuentra poco caracterizado y detallado debido a su carácter heterogéneo en usos, superficies, tipologías y sistemas [6].

La necesidad de mejorar la eficiencia energética de los edificios, basada en las líneas de acción prioritaria de las directivas europeas que promueven la mejora de la eficiencia energética de los edificios [7], [8], se dirige hacia una mejora de la sostenibilidad de los edificios. Con el objetivo de convertir el entorno en uno más sostenible, competitivo y descarbonizado, uno de los sectores objetivos para reducir el consumo de energía final será el sector edificatorio [9], convirtiéndose en una prioridad la aplicación de medidas de mejora de la eficiencia energética sobre el parque edificatorio ya construido [10], [11].

Sin embargo, esta eficiencia en los edificios públicos construidos es, en muchas ocasiones, difícil de acometer. Se unen multitud de factores: desde la antigüedad y obsolescencia de las construcciones, que adolecen del diseño adecuado; a las reducidas inversiones que se realizan para mejora de los mismos, además de la complejidad en el uso o la necesaria participación de los usuarios. Los fundamentos básicos para la optimización energética en edificios públicos terciarios son satisfacer su demanda energética para unas condiciones de habitabilidad y confort, con un consumo energético bajo y, con ello, una menor contaminación y un gasto económico más reducido [4]. Para responder a este interés por la mejora de la eficiencia es necesario realizar un análisis exhaustivo de los distintos factores que influyen de manera determinante en el consumo de recursos durante el uso de los edificios [12]. Entre los factores como la definición constructiva de la envolvente energética, los sistemas activos, el entorno, y la finalidad de uso del edificio, hay que destacar como uno de los factores de mayor influencia en el consumo energético el comportamiento de los usuarios [13]. Este factor se evidencia en la diferencia observada entre la energía final consumida según el diseño de los edificios, es decir, la energía esperada, y la energía final realmente consumida [14]. De hecho se están llevando a cabo muchos proyectos de investigación y estudios para analizar este fenómeno [15], [16], [17], [18].

Un factor esencial a tener en cuenta es que el consumo de los recursos en los edificios depende de los hábitos de los ocupantes y de la manera en que interactúan con los edificios [8], [9], [10]. La aproximación al consumo debido a este factor puede analizarse con diferentes enfoques como el conocimiento directo, personalizado y comparativo de los datos sobre el consumo de energía por parte de los usuarios favorece el cambio en los hábitos que afectan significativamente la reducción del consumo final de energía. [19], [20]. La mejora de estos aspectos en los edificios públicos no solo incidiría en el uso de estos, sino que repercutiría en otros edificios privados utilizados por los mismos usuarios. Convertir a los usuarios de los edificios públicos en usuarios proactivos en el ahorro energético [21].

Para ello, es necesario incorporar TICs que faciliten el acceso a la información en tiempo real del comportamiento en cuanto a consumo y confort se refiere en los edificios [22], [23], [24]. Tecnologías de bajo coste permiten alcanzar mayores campos de acción [25], [26]. Fruto de esta necesidad surgen los edificios inteligentes (smart buildings) [6] diseñados mediante la incorporación de las tecnologías de la información y la comunicación en la automatización e interrelación de sus sistemas: hidrosanitarios, eléctricos, telecomunicaciones, seguridad, etc. para dar respuesta a los problemas existentes anteriormente mencionados [7]. La nueva construcción sigue estas líneas inteligentes, sin embargo, el parque construido adolece de estas tecnologías. El reto por tanto es dotar a los edificios ya consolidados de estos recursos que puedan ponerlos en valor.

De este modo la investigación se desarrolla en edificios públicos existentes construidos sin tecnologías inmóviles y que presenta graves deficiencias para la adaptación de sus infraestructuras a las exigencias y requerimientos actuales, aunque se ha desplegado en ellos una importante red de sensores que monitorizan variables termohigrométricas, de calidad del aire y de actividad humana como parte del proyecto SmartPoliTech [27] de la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura. El objetivo que se pretende es diseñar y llevar a cabo políticas de uso eficiente utilizando tecnologías avanzadas de la información, la construcción y la conducta social.

2. Materiales y métodos

La metodología llevada a cabo ha consistido en el desarrollo de una auditoría energética y de uso del edificio, apoyada en la utilización de las TICs y sistemas de sensorización; ambos elementos permiten obtener resultados validados, y efectivos para toma de decisiones, y accesibles para los gestores y usuarios. Tras la auditoría de los edificios se diseñan estrategias de intervención que permiten mejorar la eficiencia del comportamiento y uso de los mismos.

En la fase inicial se han caracterizado los edificios a fin de detectar las fuentes de consumo energético y de recursos. Hay diversas clasificaciones sobre los factores influyentes en el consumo, algunas diferencian entre factores externos e internos [30], y otras son más detalladas, como la clasificación utilizada, donde se distinguen entre seis factores: climatología, envolvente térmica, mantenimiento, criterios interiores de diseño, sistemas y ocupación [31]. En esta primera fase se caracterizó la envolvente térmica de los edificios, los distintos sistemas de climatización existentes, se cuantificó y caracterizó el sistema de iluminación, y se inventariaron otros pequeños consumidores energéticos

A continuación, en la segunda fase, se procedió a la medición y análisis comparado del comportamiento energético y de las condiciones de confort higrotérmico de los edificios. Para ello, por un lado, se analizaron los consumos de los servicios energéticos a través de las facturas correspondientes durante un amplio período temporal, con un mínimo de 3 años de análisis de facturas para cada uno de los recursos; y por otro, se hizo uso del sistema de sensorización (Figura 1) con almacenamiento en base de datos que añadió datos de consumo y de las condiciones de confort interiores a tiempo real y con periodicidad menor al día, el periodo analizado de datos de sensores abarca desde inicios del año 2017. La asociación de los datos de ambas fuentes asegura el conocimiento del comportamiento real del edificio.



Figura 1. Proyecto de distribución del sistema de información y sensorización en las instalaciones de la Escuela Politécnica.

El sistema de información desplegado en los edificios (Figura 1) se diseñó para que fuese de bajo coste, escalable y de fuentes abiertas. Para la recogida de datos se seleccionaron dispositivos, bien configurables para poder dirigir el envío de los datos a los servidores, o bien diseñados y fabricados en los laboratorios de la Escuela Politécnica. El almacenamiento de los datos se lleva a cabo con la base de datos InfluxDB. Esta base de datos es específica para series temporales y está altamente optimizada para la gestión de este tipo de datos. Una de las ventajas es que puede almacenar grandes cantidades de datos ocupando un espacio muy reducido. Además, estas series temporales están indexadas por la marca de tiempo por lo que las consultas por rangos temporales son muy eficientes.

La tercera parte del sistema de información se encarga de la visualización y presentación de datos a los usuarios, así como de la gestión de alarmas. Los datos obtenidos a través de la red de sensores son mostrados mediante el software Grafana que, por un lado, permite la visualización de los datos para su posterior análisis y, por otro, permite a los usuarios de los edificios conocer los consumos energéticos y las condiciones de confort en tiempo real. Cualquier persona puede acceder a la visualización de la información a través de las pantallas [19].

Una vez definido caracterizado el entorno físico y el sistema de captación de datos, se ha de definir al usuario de los edificios. Para ello es necesario crear un perfil de usuario tipo y ajustar los canales de comunicación con el usuario para que la comunicación de la información monitorizada sea efectiva. Para que pueda producirse una optimización del consumo de recursos es necesario modificar la conducta del usuario del edificio público en todos sus perfiles, desde el gestor hasta el visitante. Para incidir sobre el comportamiento del usuario se han diseñado test de conocimientos y comportamientos previos, según los cuales se diseñan estrategias de mejora del comportamiento de consumo y uso, se definen y diseñan los canales de comunicación y mensajes, y finalmente se evalúa la modificación del conocimiento y comportamiento del usuario a través de encuestas, para como fin último contrastar con las variables sensorizadas si las

estrategias o campañas han sido efectivas. El objetivo último de esta tercera fase es analizar los factores que influyen en el comportamiento de los usuarios de edificios inteligentes y modificarlos para un uso eficiente y racional de los mismos, aplicando diferentes teorías como son las teorías del cambio de actitudes en el consumidor, la teoría del neuromarketing y la teoría de la persuasión.

El proyecto en el que se basa esta comunicación se denomina EfiPublic [28], se inicia en junio de 2017 y se desarrollará durante tres años consecutivos. En él se integran grupos de investigación de las áreas de la construcción, y tecnologías de la información y las comunicaciones de la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura (COMPHAS, Robolab y GIM), junto con la psicología educativa y social de la misma universidad, con el foco puesto en el objetivo de marco y clima para 2030 de la U.E [29].

3. Resultados y discusión

La metodología expuesta se ha implantado en un edificio público de enseñanza universitaria, ya construido, con una antigüedad de 25 años. Es un centro en el que se imparten 11 titulaciones universitarias, muy diferentes en sus necesidades diarias, lo que genera una alta complejidad de gestión; y por el que pasan anualmente algo más de 1500 estudiantes, constituyendo una comunidad de 1700 usuarios actualmente. Las instalaciones del centro se distribuyen en siete edificios: pabellón del grado de Ingeniería Civil (OP), pabellón del grado de Ingeniería de la Edificación (AT), pabellón del grado en Ingeniería Informática (INF), pabellón de Servicios Comunes (SC), pabellón del grado de Ingeniería en Telecomunicaciones (TEL) y los edificios de Investigación y Laboratorio de Acústica (INV); todos ellos comparten servicios e instalaciones, y alojan 40 aulas, 40 laboratorios de diferente uso y capacidad y un total de 150 despachos. En estas instalaciones se detectan múltiples deficiencias respecto a su eficiencia energética, con los consiguientes grandes problemas de consumo y utilización, lo que dificulta la gestión y mantenimiento de las mismas.

En el conjunto de los edificios se detectan las siguientes deficiencias energéticas y de consumo de recursos hídricos:

- Consumos elevados en electricidad debidos a una línea base de consumo elevada, que supera en el cómputo anual el debido a la presencia de usuarios.
- Uso no eficiente de los sistemas de climatización debido a la ausencia de referencias reales con las mediciones de las condiciones higrotérmicas interiores y su relación con las condiciones de confort.
- Ausencia de confort interior según las condiciones higrotérmicas medidas en los espacios, alternando períodos extremos de frío y calor, incluso períodos estacionales de contrarias sensaciones.
- Mala calidad del aire interior debido a la falta de ventilación que supone altas concentraciones de CO₂.
- Consumo de recursos hídricos que no se ha reducido con la misma velocidad que sí lo ha hecho el número de usuarios.

Las instalaciones de la Escuela Politécnica se han convertido en un laboratorio vivo de investigación en tecnologías Smart [27]. Así el equipamiento ha situado sensores que monitorizan el estado ambiental a partir de la temperatura, humedad, y CO₂, que permiten conocer la situación de confort del usuario; el consumo en las calderas de gas y bombas de calor y frío existentes; el consumo de agua pormenorizado por zonas y edificios, y la actividad humana a partir de una red de cámaras que proporcionan

estimaciones cuantitativas y cualitativas del número de personas y el tipo de actividad en el que están involucradas, entre otros sensores o actuadores. Actualmente se ha implantado el sistema de información, y se visualizan datos a través de pantallas de grandes dimensiones en zonas de paso que permiten al usuario conocer en tiempo real los datos de consumo del edificio.

A pesar de que el despliegue de sensores y de tecnologías abarca la cuantificación del consumo de distintos recursos energéticos, la medición de variables de confort higrotérmico, y se ha llevado a cabo una caracterización energética de los edificios y una aproximación a la definición del perfil de usuario tipo del edificio; la metodología implantada para la mejora del comportamiento energético y uso eficiente del mismo no se encuentra implantada en su totalidad, sirviendo de muestra la metodología implantada en el análisis, gestión e implantación de estrategias de mejora del uso de los recursos hídricos de las instalaciones de la Escuela Politécnica.

Del consumo de agua se han analizado a través de facturas el periodo comprendido entre 2009 y 2015 (Figura 2, Figura 3, Figura 4), desde entonces no se poseen facturas oficiales debido a la inoperatividad del contador oficial de la compañía suministradora. La facturación se encuentra referida de manera conjunta a todos los edificios que componen la Escuela Politécnica, el consumo de agua se encuentra asociado al consumo humano, al abastecimiento de las instalaciones de los cuartos húmedos, al servicio de cafetería y a algunos sistemas de climatización.

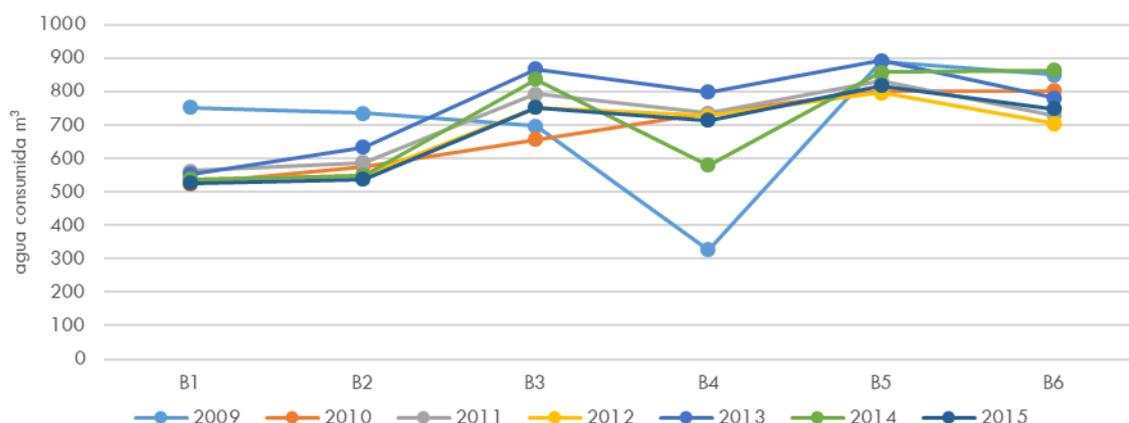


Figura 2. Consumo de agua de red según facturación

Analizando la Figura 2 se puede extraer como conclusión que, en el primer y parte del segundo bimestre, enero a marzo, el consumo de agua suele ser inferior al resto del año, evento que también se produce en el cuarto bimestre, julio y agosto, esto es debido al descenso de ocupación del edificio durante los periodos vacacionales y de exámenes.

El fenómeno comentado anteriormente se vería claramente reflejado en la Figura 3 si se dispusiera de datos de ocupación real del edificio para ese periodo, pudiendo distinguir en tal caso entre periodos de baja ocupación del alumnado y periodos de total ocupación. Lo que sí puede apreciarse es que en el consumo por usuario es mayor en el año 2015 respecto al 2009, fenómeno alarmante y que podría asociarse a un consumo base mínimo de mantenimiento del uso de los edificios no asociado directamente al usuario (Figura 4).

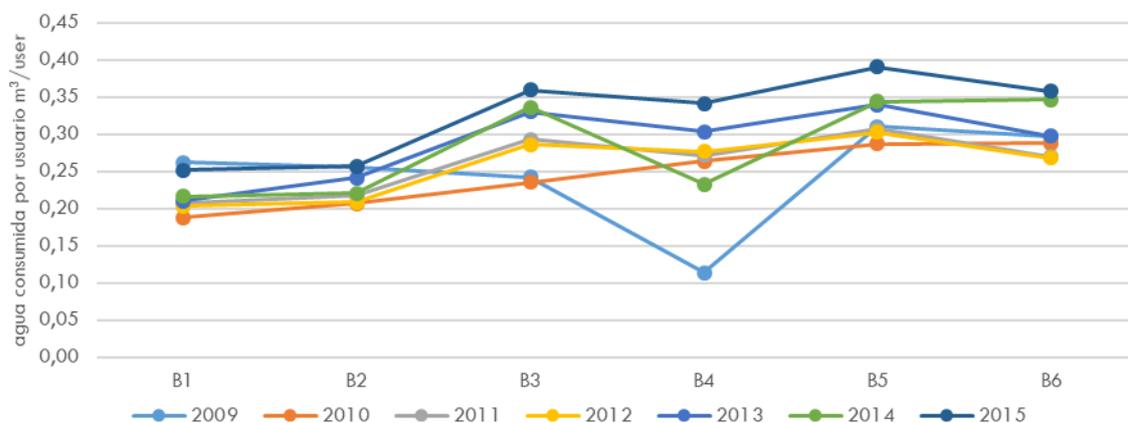


Figura 3. Consumo de agua por usuario según facturación

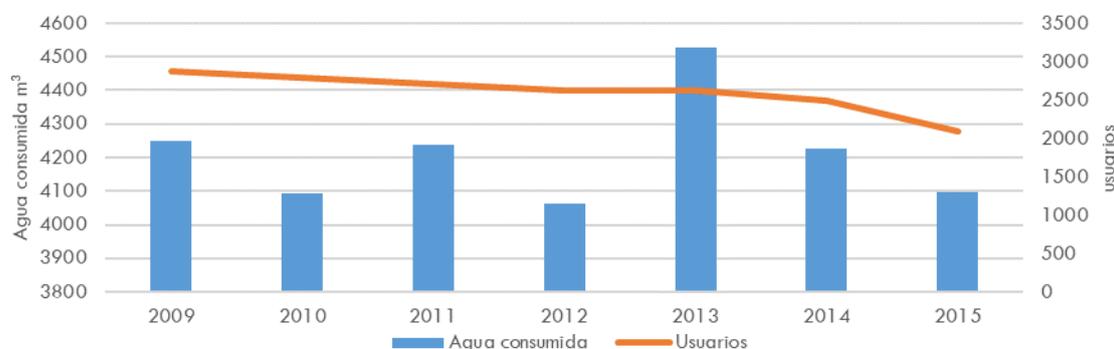


Figura 4. Evolución consumo de agua y usuarios 2009-2015

Para poder pormenorizar en el consumo de agua de cada uno de los pabellones sería necesario recurrir al análisis de los datos recogidos por los caudalímetros y medidores de pulso instalados en la entrada de abastecimiento de cada uno de los edificios o pabellones que componen la Escuela Politécnica (Figura 5, Figura 6, Figura 7). El análisis de los datos recogidos por los sensores instalados en los caudalímetros desde el año 2017 nos permite discernir el consumo de manera pormenorizada, asociar la existencia o no de fugas o consumos constantes no asociados a la ocupación. En un análisis preliminar horario se ha observado que no existen consumos remanentes ni líneas base de consumo de agua, por lo que el consumo de agua se asocia a la presencia humana.

Se muestra en la Figura 5 el consumo horario de agua de la cafetería, principal fuente de consumo de las instalaciones de la Escuela Politécnica, donde se puede observar que la actividad se inicia a las 6 a.m. independientemente de la época del año, a excepción de agosto que permanece cerrado; que tiene el pico máximo de afluencia sobre las 9 y las 10 a.m. y vuelve a repuntar la presencia de 13 a 15, siendo la hora de cierre de las instalaciones a las 20.

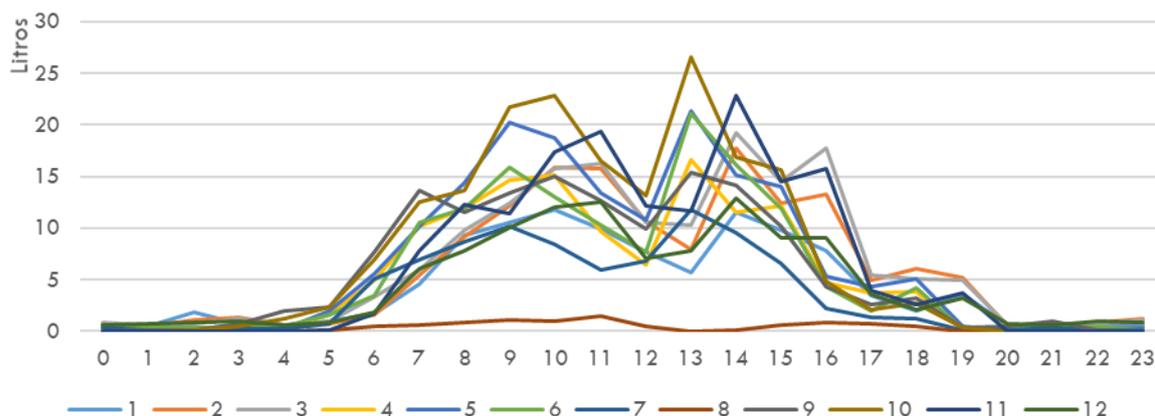


Figura 5. Consumo promedio de agua de las instalaciones de cafetería con discriminación horaria y mensual del año 2017

Como se muestra en la Figura 6 no existe un consumo base apreciable fuera del horario de ocupación y apertura de los edificios. También puede observarse lo ya evidenciado, el edificio SC, que alberga los servicios de cafetería, es el pabellón que mayor consumo de agua tiene, siguiendo la curva descrita anteriormente. Como segundo edificio consumidor de agua se encuentra el edificio INF, esto es debido a que es el segundo pabellón, por detrás de SC, en número de usuarios. El edificio que menor consumo de agua presenta es el edificio OP, esto es debido al escaso número de usuarios, aunque en algunas temporadas su consumo de agua es aparentemente anómalo debido al uso de laboratorios que requieren abundante agua. En número de usuarios OP y AT son similares, 294 para el primero y 277 para el segundo, pero en AT se observan consumos de agua ligeramente superiores debido a la presencia constante de visitantes y usuarios de las instalaciones comunes de todo el centro.

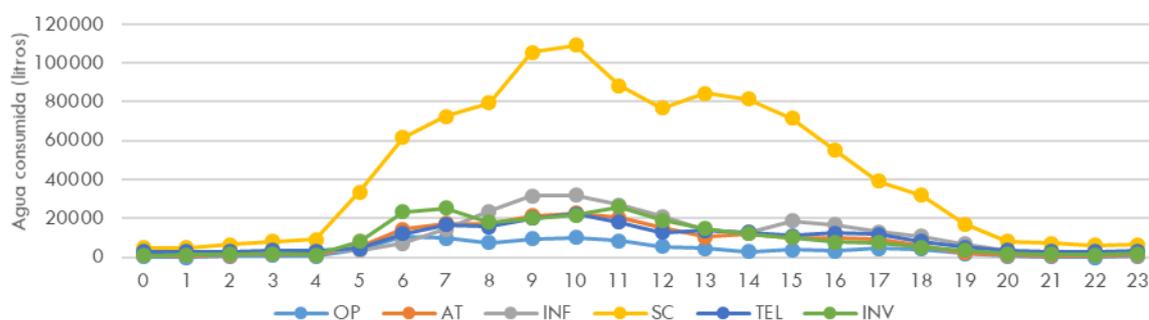


Figura 6. Consumo de agua total horario año 2017 según edificios.

Respecto a la discriminación estacional del consumo de agua, mostrada en la Figura 7, se observan claros indicios de la dependencia de la presencia de usuarios, y casi despreciable la relación del consumo de agua en el caso de estos edificios a las temperaturas ambientales propias de los cambios estacionales. El menor consumo se produce en agosto debido al cierre total de las instalaciones durante una quincena, seguidas del mes de diciembre, coincidiendo con el periodo vacacional. En octubre y mayo el consumo es mayor debido a la mayor afluencia de público externo a las instalaciones y de usuarios propios.

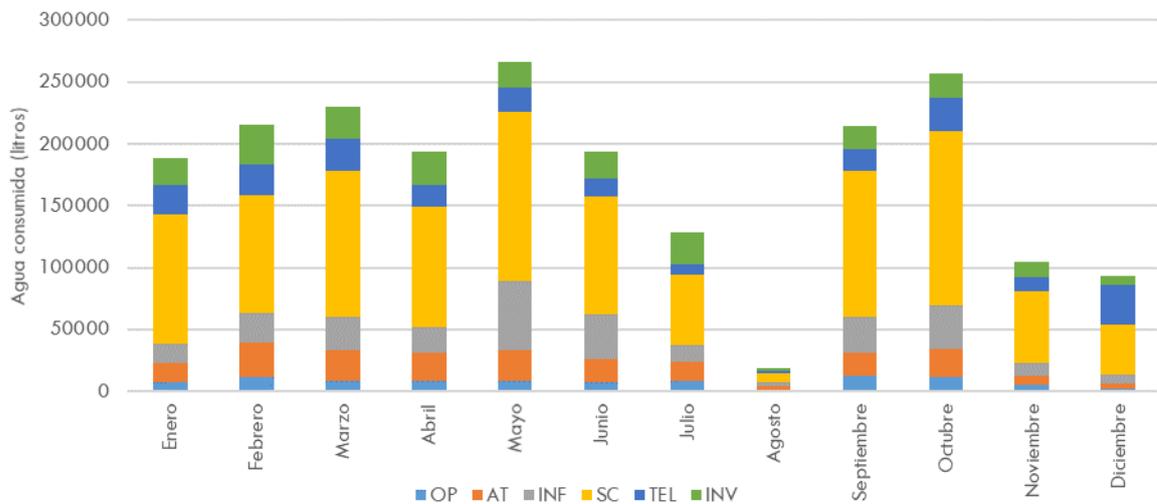


Figura 7. Consumo de agua total del centro acumulado por mensualidades año 2017

Vistos los consumos de agua y los picos de consumo que en los periodos iniciales de sensorización se producían en algunos casos, se establecieron protocolos de actuación para identificar y eliminar los consumos pico, que en casi cualquier caso se debían a fugas. Inicialmente se establecieron, a través del sistema de visualización Grafana, consignas de alerta con aviso directo y automático (Figura 8); de este modo es posible localizar el edificio en el que se está produciendo un consumo anómalo y proceder a la inspección visual para la localización del consumo. Este protocolo implicó inicialmente al personal de servicios del edificio y redujo considerablemente las pérdidas del sistema.

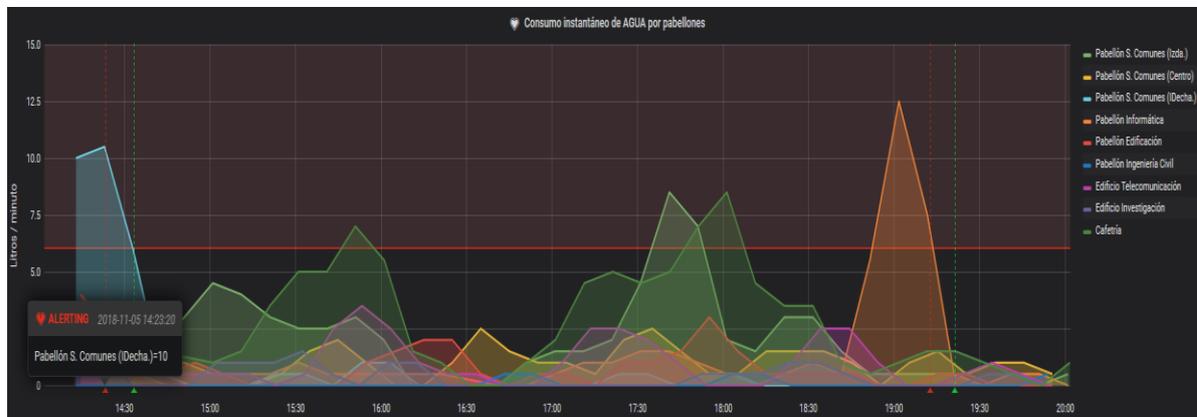


Figura 8. Sistema de visualización del consumo de agua con alarmas

Esta aproximación inicial parece insuficiente en cuanto al usuario se refiere, ya que sólo actuaba sobre el personal responsable de recibir las alarmas, lo que suponía sólo un 2,5% de los usuarios. En este interés por implicar y concienciar al usuario, en el mes de octubre de 2018 y tras el inicio del curso académico se ha implementado el conjunto de actuaciones a fin de caracterizar a los usuarios del edificio respecto al consumo y ahorro de agua.

Como resultado de la encuesta inicial de caracterización de los usuarios se ha de destacar que en el grupo experimental casi la mitad de los usuarios desconocía la existencia de información sobre el consumo de agua disponible al público (Figura 9); es decir, los canales de comunicación con el público hasta ahora no habían sido los adecuados, ya que la información se encuentra monitorizada y disponible desde un año

antes. Además, se ha de destacar que más de la mitad de los usuarios que realizaron la encuesta reconocen tener posibilidades de reducir su consumo en los edificios objeto de estudio. Por lo que, a pesar de desconocer la información disponible a su alcance, la predisposición y posibilidad de reducir el consumo a nivel usuario se plantea factible.

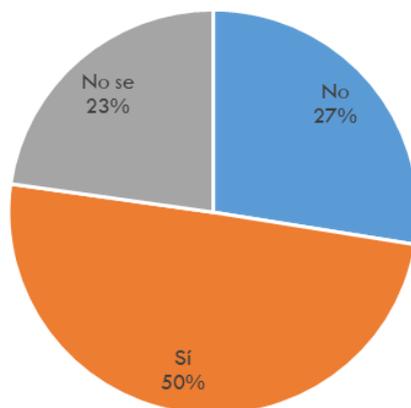


Figura 9. Encuesta precampaña. Respuestas del grupo experimental a la pregunta "En la facultad donde estudio/trabajo tengo información sobre el consumo de agua"

Tras el análisis de las encuestas se diseñó una estrategia de comunicación (Figura 10) para la concienciación en cuanto al ahorro de agua. La comunicación se realizó por varias vías, distinguiendo cartelería en puntos de consumo y pantallas de concienciación y de información relevante sobre el consumo en tiempo real de los edificios [32]. A pesar del estrecho margen de ahorro posible debido a la temporización de casi todos los puntos de consumo, la estrategia y campaña ha servido para concienciar sobre el consumo de agua, para dar a conocer las pantallas informativas y las aplicaciones de visualización de consumo disponibles, así como para constatar la existencia de una gran instalación de monitorización y sensorización desplegada en los edificios.

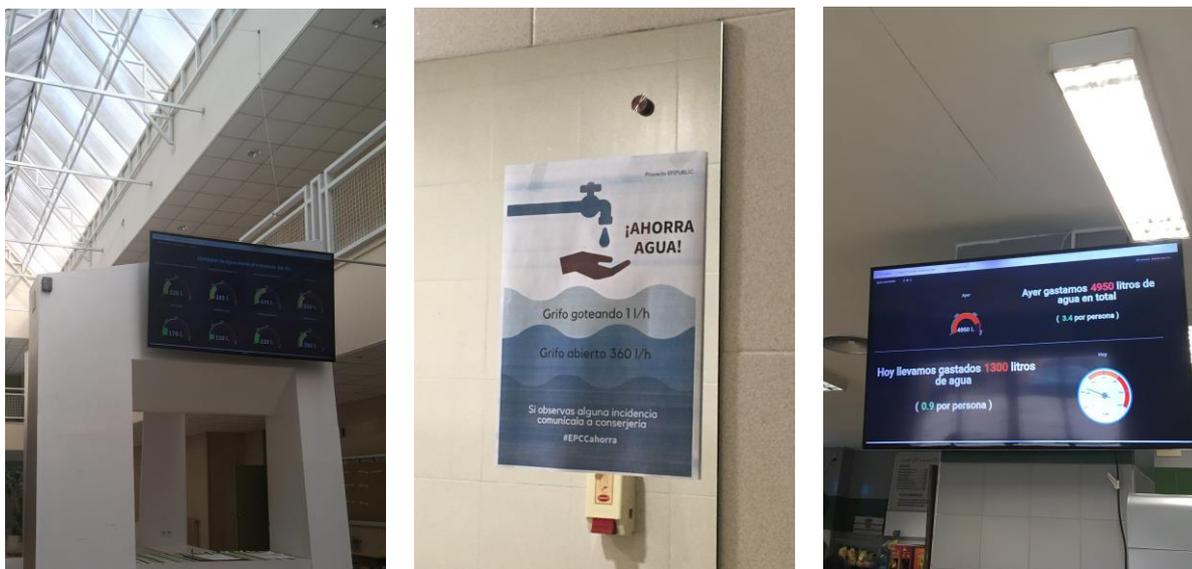


Figura 10. Muestra de comunicación por pantallas y cartelería de la campaña de ahorro de agua

La campaña de ahorro de agua se ha mantenido durante 21 días tras los cuales se ha realizado una encuesta de verificación post-campaña. En esta encuesta, al igual que en la inicial, se ha contado con un grupo de control y otro experimental. Como conclusiones,

preliminares ya que se siguen recogiendo respuestas, de la encuesta posterior a la campaña, respecto al medio de comunicación de la campaña (Figura 11) se puede afirmar que, hay un 23% de usuarios que dicen no haber recibido por ningún medio información sobre el consumo y ahorro de agua; el 30 % dice haber recibido información sólo a través de pantallas y el 35% a través de pantallas y cartelera. En cuanto a los usuarios del grupo experimental que son conocedores de la existencia de información sobre el consumo de agua de los edificios, ha aumentado considerablemente de un 38% a un 85%.

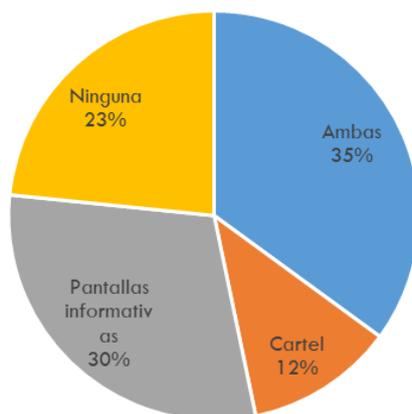


Figura 11. Incidencia del medio de difusión de la campaña de ahorro de agua

En cuanto al número de participantes en las encuestas (Figura 12), la participación se ha visto reducida principalmente en el grupo experimental, esto puede ser debido a la frecuencia tan pequeña con la que se ha requerido su cumplimentación, sólo 21 días, y el exceso de participación requerida.

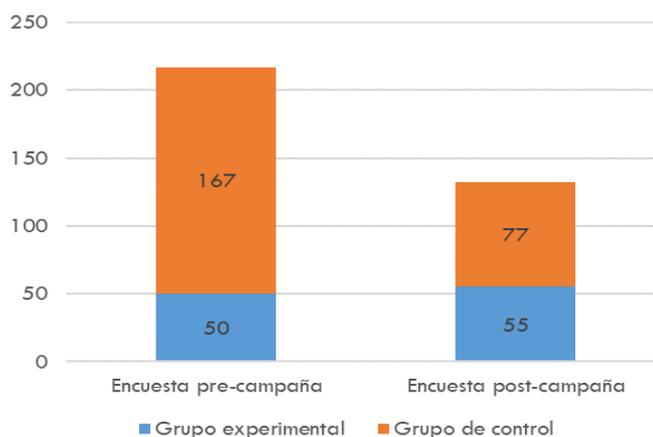


Figura 12. Participación en las encuestas sobre consumo y ahorro de agua en las fases precampaña y postcampaña de ahorro de consumo

Respecto a la concienciación de la cantidad de agua que cada usuario utiliza en las instalaciones de la Universidad (Figura 13), tanto en la situación previa como posterior a la campaña de ahorro coincide que el 75% de los encuestados consume menos de 30 litros al día en las instalaciones, aunque los porcentajes de personas que consumen hasta 10 litros, de 11 a 20 litros y de 21 a 30 litros han variado. Como puede observarse en la citada figura, los porcentajes no han variado considerablemente.

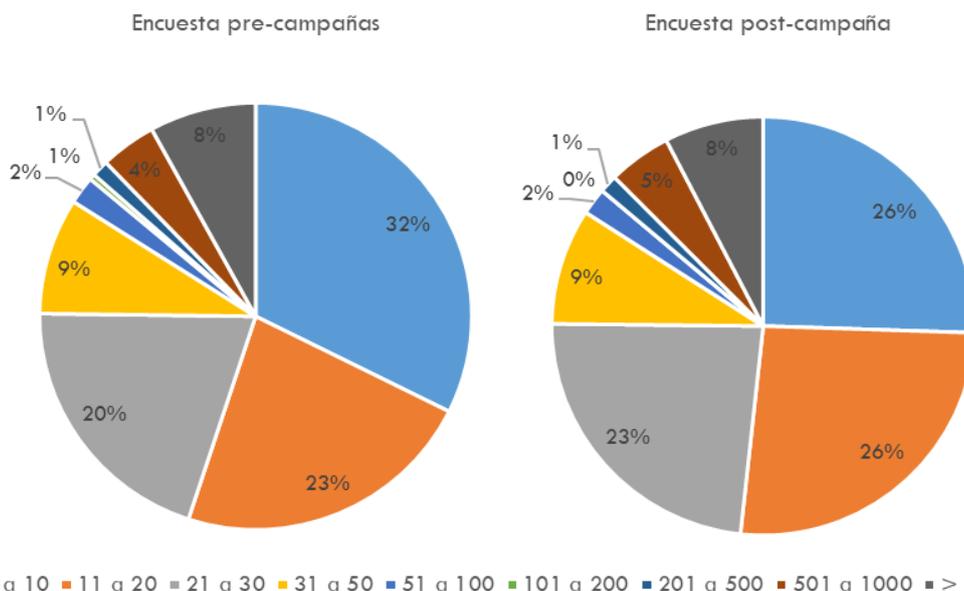


Figura 13. Respuestas en las encuestas a la pregunta “Teniendo en cuenta que en la facultad cada vez que se abre un grifo con temporizador consume 3 litros o que una descarga de la cisterna de WC consume 10 litros. ¿Cuántos litros de agua calculas que consumes aproximadamente al día dentro de las instalaciones de la facultad?” en la encuesta previa y post a la campaña de concienciación y ahorro de agua

A pesar de que el consumo de agua no se ha visto disminuido de manera relevante durante el periodo de campaña intensiva de ahorro de agua, ni puede atribuirse exclusivamente a la campaña de ahorro llevada a cabo, la aplicación de la metodología de análisis basada en la caracterización del usuario, el diseño de campañas de ahorro y concienciación, ha permitido alcanzar al usuario final para sensibilizarlo y concienciarlo en el ahorro y la repercusión de la acción individual en el conjunto del grupo social. Muestra de esta concienciación del usuario individual y su implicación en una colectividad es la evolución observada en la encuesta ante la pregunta “Tengo posibilidades de reducir MI consumo de agua en la facultad donde estudio/trabajo” como puede observarse en la Figura 14 donde el colectivo que está totalmente de acuerdo con la afirmación ha pasado de un 19.82% a un 29.85%.

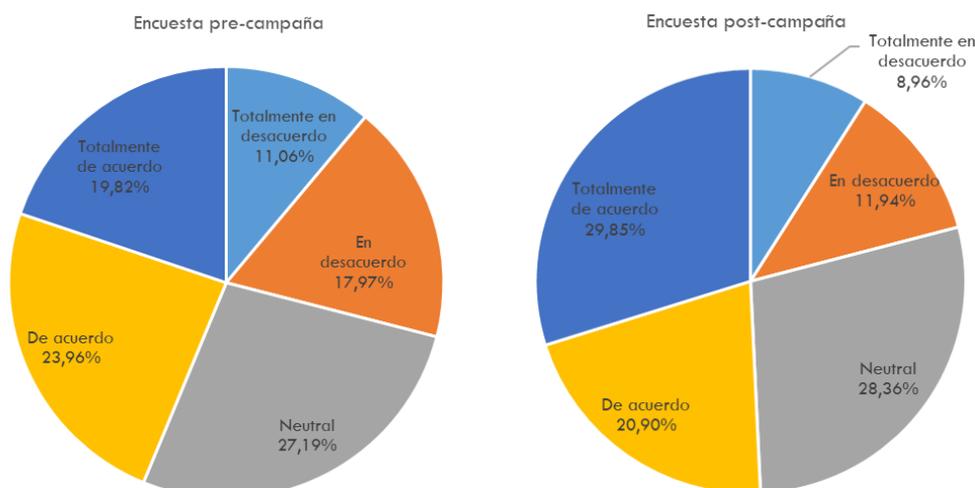


Figura 14. Respuestas en las encuestas a la afirmación “Tengo posibilidades de reducir MI consumo de agua en la facultad donde estudio/trabajo”

Así mismo se han dado a conocer las fuentes de información disponibles, los medios y vías de comunicación existentes que permitirán mejorar el comportamiento del usuario, aumentando el porcentaje de usuarios activos o neutros y reduciendo los pasivos [21].

4. Conclusiones

La experiencia de la aplicación metodológica del análisis en profundidad de las variables del comportamiento de los edificios públicos, pone de manifiesto la importancia de la implicación del usuario y la necesaria disposición tecnológica al servicio de los usuarios finales y de los gestores de los edificios. Se evidencia la necesaria introducción de las tecnologías de la información y la comunicación, sobre todo en cuanto a sensorización y monitorización de edificios, para la realización de un análisis correcto de las variables de uso y funcionamiento de los edificios, con especial atención en los de uso público debido a su habitual complejidad.

Esta implicación del usuario posibilita la capacidad de modificar la conducta y mejorar la eficiencia del uso de los edificios público, y por ende de otras tipologías de edificios habitables existentes. Para poder cuantificar la interferencia del usuario sobre el consumo y uso de los edificios se muestra necesaria la sensorización temporal y periódica de las variables de confort y consumo de las construcciones, junto con el análisis en profundidad de la realidad constructiva y de sistemas.

Los medios utilizados para la evaluación de la metodología en cuanto a la implicación social se refieren, no han sido efectivos en cuanto a su participación, es posible que el método de evaluación no haya sido el adecuado. Además, el número de respuestas erróneas denota falta de formación en la materia a tratar, lo que nos indica la necesidad de evaluar la idoneidad de las campañas de sensibilización sobre colectivos nada o poco formados.

Es necesario extender la experiencia y abarcar más áreas de actuación, diversificando las metodologías de intervención social para alcanzar el mayor número de usuarios implicados en el ahorro de recursos. El proyecto [28] se encuentra en las fases iniciales de concienciación y transformación social con la finalidad de acercar al público en general la información disponible, por lo que aún quedan abiertas muchas vías de intervención y diversas variables cuantificables;

5. Agradecimientos

Esta comunicación ha sido financiada parcialmente por proyecto EfiPublic, IB16128, perteneciente a la Convocatoria de Proyectos de Investigación en Centros Públicos de I+D+i financiados por la Consejería de Economía e Infraestructuras de la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional de la UE.

6. Bibliografía

- [1] Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, Plan Nacional De Acción De Eficiencia Energética 2017-2020, 2017. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_neeap_2017_es.pdf.
- [2] Eurostat, European Commission, Final Energy Consumption, Eurostat. (2016). <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (accessed August 23, 2018).
- [3] U.S. Energy Information Administration, International Energy Agency, International Energy Outlook 2017, 2017. www.eia.gov/ieo (accessed March 23, 2018).
- [4] B. Prado Eulate, D. Navia Simón, M.T. Velasco Roncón, Á. Mazarrasa Alvear, P. Iglesia Gómez, M. Margarit Borrás, E. Montes Pérez del Real, J.M. Villarig Tomás,

Balance Energético de 2016 y perspectivas para 2017, 2017.

- [5] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España. Año 2015., 2017. http://www.idae.es/sites/default/files/estudios_informes_y_estadisticas/informe_indicadores_ee_2015_27072017.pdf.
- [6] D. D'Agostino, B. Cuniberti, P. Bertoldi, Energy consumption and efficiency technology measures in European non-residential buildings, *Energy Build.* 153 (2017) 72–86. doi:10.1016/J.ENBUILD.2017.07.062.
- [7] European Parliament, Council of the European Union, Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2012. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&from=EN> (accessed March 23, 2018).
- [8] E.L.P. Europeo, E.L. Consejo, D.E.L.A. Uni, P. Europeo, D. Oficial, P. Europeo, P. Europeo, DIRECTIVA (UE) 2018/844 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, 2018. <https://www.boe.es/doue/2018/156/L00075-00091.pdf>.
- [9] Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 97% of buildings in the EU need to be upgraded, 2017. http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/12/State-of-the-building-stock-briefing_Dic6.pdf.
- [10] Ministerio de Fomento Gobierno de España, Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España ERESEE 2017, Madrid, 2017. <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/24003A4D-449E-4B93-8CA5-7217CFC61802/143398/20170524REVISIONESTRATEGIA.pdf> (accessed April 2, 2018).
- [11] Ministerio de Fomento, M. de I.E. y Turismo, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Calificación de la eficiencia energética de los edificios, 2015. <http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Documents/20150728 - Calificación de la eficiencia energética de los edificios.pdf>.
- [12] Y. Geng, W. Ji, B. Lin, J. Hong, Y. Zhu, Building energy performance diagnosis using energy bills and weather data, *Energy Build.* 172 (2018) 181–191. doi:10.1016/J.ENBUILD.2018.04.047.
- [13] F. Stazi, F. Naspi, M. D'Orazio, A literature review on driving factors and contextual events influencing occupants' behaviours in buildings, *Build. Environ.* 118 (2017) 40–66. doi:10.1016/J.BUILDENV.2017.03.021.
- [14] D. Cali, T. Osterhage, R. Streblov, D. Müller, Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test, *Energy Build.* 127 (2016) 1146–1158. doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.05.020.
- [15] E. Delzende, S. Wu, A. Lee, Y. Zhou, The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 80 (2017) 1061–1071. doi:10.1016/J.RSER.2017.05.264.
- [16] K.-U. Ahn, C.-S. Park, Correlation between occupants and energy consumption,

- Energy Build. 116 (2016) 420–433. doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.01.010.
- [17] Y. Zhang, X. Bai, F.P. Mills, J.C.V. Pezzey, Rethinking the role of occupant behavior in building energy performance: A review, *Energy Build.* 172 (2018) 279–294. doi:10.1016/J.ENBUILD.2018.05.017.
- [18] J. Langevin, P.L. Gurian, J. Wen, Tracking the human-building interaction: A longitudinal field study of occupant behavior in air-conditioned offices, *J. Environ. Psychol.* 42 (2015) 94–115. doi:10.1016/J.JENVP.2015.01.007.
- [19] P.M. Desley Vine, Laurie Buys, The Effectiveness of Energy Feedback for Conservation and Peak Demand: A Literature Review, *Open J. Energy Effic.* 2 (2013) 7–15. doi:http://dx.doi.org/10.4236/ojee.2013.21002.
- [20] T. Ueno, R. Inada, O. Saeki, K. Tsuji, Effectiveness of an energy-consumption information system for residential buildings, *Appl. Energy.* 83 (2006) 868–883. doi:10.1016/J.APENERGY.2005.09.004.
- [21] T. Hong, H. Lin, Occupant Behavior: Impact on Energy Use of Private Offices, *Asim IBSPA Asia Conf.* (2013).
- [22] T. Sharmin, M. Gül, X. Li, V. Ganev, I. Nikolaidis, M. Al-Hussein, Monitoring building energy consumption, thermal performance, and indoor air quality in a cold climate region, *Sustain. Cities Soc.* 13 (2014) 57–68. doi:10.1016/J.SCS.2014.04.009.
- [23] M. Vellei, S. Natarajan, B. Biri, J. Padget, I. Walker, The effect of real-time context-aware feedback on occupants' heating behaviour and thermal adaptation, *Energy Build.* 123 (2016) 179–191. doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.03.045.
- [24] A.P. Batista, M.E.A. Freitas, F.G. Jota, Evaluation and improvement of the energy performance of a building's equipment and subsystems through continuous monitoring, *Energy Build.* 75 (2014) 368–381. doi:10.1016/J.ENBUILD.2014.02.029.
- [25] O. Bamodu, L. Xia, L. Tang, An indoor environment monitoring system using low-cost sensor network, *Energy Procedia.* 141 (2017) 660–666. doi:10.1016/J.EGYPRO.2017.11.089.
- [26] M.W. Ahmad, M. Mourshed, D. Mundow, M. Sisinni, Y. Rezgui, Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research, *Energy Build.* 120 (2016) 85–102. doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.03.059.
- [27] Smart Open Lab, Proyecto Smart Politech, WordPress. (2017). <http://smartpolitech.unex.es/> (accessed November 7, 2018).
- [28] COMPHAS, Robolab, GIM, GidEx, Efiublic | Inmótica social para uso eficiente de edificios públicos, Univ. Extrem. (2017). <http://comphas.unex.es/efiublic/> (accessed November 7, 2018).
- [29] European Commission, Marco sobre clima y energía para 2030, Eur. Comm. (2014). https://ec.europa.eu/clima/policias/strategies/2030_es#tab-0-0 (accessed November 7, 2018).
- [30] H. Ma, N. Du, S. Yu, W. Lu, Z. Zhang, N. Deng, C. Li, Analysis of typical public building energy consumption in northern China, *Energy Build.* 136 (2017) 139–150. doi:10.1016/J.ENBUILD.2016.11.037.

- [31] K. Sun, T. Hong, A framework for quantifying the impact of occupant behavior on energy savings of energy conservation measures, *Energy Build.* 146 (2017) 383–396. doi:10.1016/J.ENBUILD.2017.04.065.
- [32] Proyecto Efipublic, SmartPolitech, Grafana - Agua consumida, Grafana. (2018). <http://158.49.112.54:4000/d/t7idFuTik/agua-consumida?refresh=1m&orgId=1> (accessed November 7, 2018).