Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

SmartPoliTech: un experimento en inmótica social

A. Sánchez, M. Barrena, P.G. Rodríguez, B. Montalbán, P. Bustos

Universidad de Extremadura, Cáceres, España,
agustin.robolab@gmail.com, barrena@unex.es, pablogr@unex.es,
bmpozas@unex.es, pbustos@unex.es,
WWW home page: http://smartpolitech.unex.es

Resumen La optimización energética en edificios públicos terciarios en España es un reto insoslayable. La realidad actual de despilfarro energético, falta de confort, infrautilización de los espacios o deficiente disposición de los mismos respecto a los usos sobre los que fueron proyectados, es un hecho que repercute directamente en la eficiencia de las actividades realizadas en ellos, así como en las emisiones de CO_2 que se generan actualmente y que suponen una seria amenaza para la sostenibilidad de estos edificios. La inmótica, como disciplina que apunta a la automatización de los procesos y actividades que se generan en el edificio, surge como elemento capaz de proporcionar soluciones a este grave problema de optimización energética. En este artículo se describen las generalidades del proyecto SmartPolitech, una iniciativa experimental de bajo coste que utiliza la inmótica como medio para abordar una problemática generalizada de ineficiencia energética en la inmensa mayoría de edificios públicos españoles.

Keywords: Internet de las Cosas, Inmótica

1. Introducción

La utilización segura, eficiente, accesible y funcional de los espacios públicos es un reto para la arquitectura construida. Las realidades que constatamos en muchos edificios que usamos todos los ciudadanos a diario (Ayuntamientos, Centros de Salud, Centros docentes, etc.) de despilfarro energético, falta de confort, infrautilización de los espacios o deficiente disposición de los mismos respecto a los usos sobre los que fueron proyectados es un hecho que repercute directamente en la eficiencia de las actividades realizadas en ellos, así como en las emisiones de CO_2 que se generan actualmente. A esto se deben añadir otros problemas como son la complejidad y el coste existente en la administración o mantenimiento de estos edificios. Como dato relevante, el consumo eléctrico unitario por empleado del sector servicios en España en 2014 se ha valorado en 5.312 kWh, valor superior a la media de la UE28 y de todos los países de nuestro entorno [8].

De todos los factores que inciden de forma directa en el uso de este tipo de espacios, el elemento energético determina más que ningún otro el grado

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

de eficiencia en su utilización. En España en el análisis realizado del sector terciario no residencial se detecta un problema complejo debido a la diversidad de tipologías y usos, así como también a la falta de políticas que sin embargo, sí existen en vivienda. Con 825.586 metros cuadrados repartidos en unos 2.000 edificios, el consumo se registra en más de 10.000 Ktep [5]. Sin embargo según este mismo análisis "los edificios del sector no residencial en España tienen un potencial de ahorro muy significativo, aunque requieren un enfoque distinto al de la vivienda. El sector terciario a pesar de tener menos edificios que el sector residencial (con una superficie menor), supone el 35 % del consumo de energía del país dentro de lo que es la edificación"[5].

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. Por otra parte, tal y como se destaca en la Directiva 2010/31/UE [4], la importancia de la contribución del consumo energético en los edificios al consumo total no tiene un reflejo en la cantidad de información disponible a este respecto, por lo que resulta esencial comenzar a hacer disponible la información energética de los edificios, de modo que se puedan facilitar análisis oportunos y planes energéticos eficientes para el futuro.

Para responder a estos problemas en todos los sectores surgen los edificios inteligentes (*smart buildings*) 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. [1]. Los proyectos *smart* pueden llegar a ser muy amplios, integrando a las personas, la economía y los negocios, el gobierno, la habitabilidad, la movilidad o la protección ambiental. La nueva construcción sigue estas líneas inteligentes, sin embargo el parque ya construido adolece de estas tecnologías. El reto por tanto es dotar a los edificios ya consolidados de estos recursos que puedan ponerlos en valor y garantizar su permanencia y no su abandono y desocupación como sucede en muchos edificios públicos existentes.

En la actualidad los proyectos *smart* en viviendas y edificios se limitan simplemente a su domotización parcial en sistemas o instalaciones, y raramente se combinan con un modelo realista del espacio y los problemas globales sobre el que se debe actuar. Esta desconexión provoca, en la mayoría de los casos, un desajuste entre las condiciones previstas del contexto y su estado real, lo cual pone en riesgo el éxito del proyecto de domotización. Además de una correcta ubicación de sensores teniendo en cuenta los elementos constructivos esenciales que afectan a las variable objeto de medida, una eficiente red de comunicaciones para facilitar el trasiego de datos y la infraestructura software adecuada que soporte el almacenamiento, procesamiento y visualización de la información, un proyecto inmótico que no aborde la integración plena de los usuarios así como el uso real de los espacios por parte de éstos, está sin duda abocado al fracaso.

De acuerdo con [13], en demasiadas ocasiones solemos pensar que la creación y desarrollo de un espacio de trabajo "inteligente" o eficaz desde el punto de vista

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

energético, tiene sentido en si mismo dada la especial implicación intelectual y la estudiada repercusión positiva que tendrá para quienes lo habitan o trabajan en él, olvidando que el factor humano es tan relevante como el propio diseño y que las personas atienden en su vida cotidiana a factores subjetivos que poco, o nada, tienen que ver con lo que podemos denominar "el bien común". De esta forma, para poder estudiar la conducta de los usuarios y su posible modificación en relación con los hábitos de uso, tenemos que analizar las motivaciones personales, las actitudes hacia el objeto (edificio inteligente) y la identificación emocional con el proyecto.

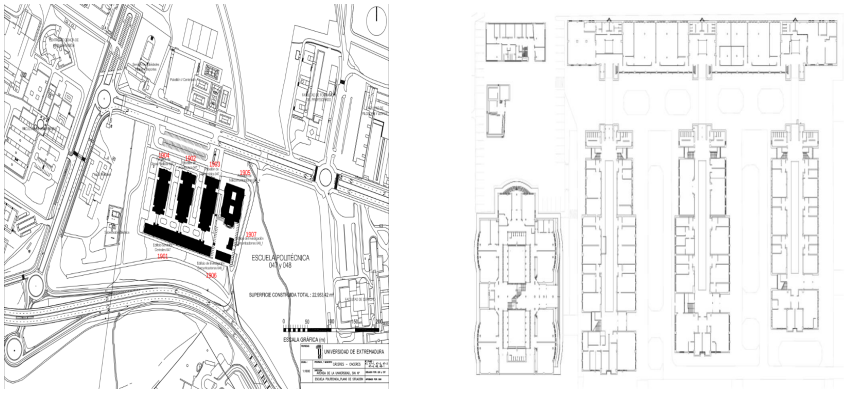
SmartPoliTech es una iniciativa creada en la Escuela Politécnica de la Universidad de Extremadura cuyo objetivo es transformar las instalaciones existentes en un centro experimental para el estudio, análisis, diseño, implantación y validación de las tecnologías *Smart*. Las características de este Centro como centro universitario público la convierten en un escenario ideal para investigar en estos nuevos ecosistemas sociales digitales. Por un lado, se desarrollan actividades docentes e investigadoras repartidas en siete edificios que involucran a un total 2.700 personas entre estudiantes, profesores y personal de administración y servicios. Por otra, el Centro aglutina una gran cantidad de conocimiento multidisciplinar a través de los 19 grupos de investigación vinculados y cuyas líneas de trabajo coinciden en algún punto con el objetivo de SmartPoliTech. Este entorno constituye una plataforma experiemental idónea para investigar en vivo soluciones basadas en tecnologías inteligentes que puedan llegar a mejorar la habitabilidad, la sostenibilidad y la eficiencia energética del conjunto.

El proyecto SmartPoliTech contempla el aspecto social como parte esencial de la inmotización. La dimensión social del proyecto analiza las motivaciones, actitudes y emociones de los usuarios con objeto de determinar e identificar conductas y hábitos que inciden en comportamiento energético de las instalaciones, generando a partir de este análisis sugerencias de uso eficiente y responsable por parte del usuario. En este artículo describimos los aspectos tecnológicos del sistema inmótico, la arquitectura software y el despliegue llevado a cabo para dar soporte al proyecto en su conjunto, finalizando con la presentación de algunos resultados significativos. Los componentes que soportan la dimensión social son tratados de modo marginal en el presente artículo.

2. Contexto

El edificio donde se ubica la Escuela Politécnica (EPCC) fue construido hace 25 años según unos requerimientos que han ido sufriendo multitud de cambios para adaptarse. La figura 1 presenta una vista cenital de la localización de la EPCC y una perspectiva relativa a la planta de los edificios en que se ubica nuestro centro. Con objeto de valorar convenientemente las implicaciones de un proyecto inmótico como el que lleva a cabo SmartPolitech, los siguientes puntos destacan las principales anomalías que presenta el entorno, representativas en gran medida de la inmensa mayoría del parque español de instalaciones de uso público:

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021



(a) Localización EPCC. (b) Plantas de edificios en EPCC.

Figura 1: Localización EPCC y plantas de edificios.

- Exceso de consumo en el agua sanitaria, ya que no existe ningún sistema que detecte las posibles averías que se producen a menudo antes de que se despilfarren muchos litros de agua potable. Actualmente se consumen en la escuela unos 4000 metros cúbicos por año de agua.
- Consumo no eficiente de la energía eléctrica o gasoil para climatización, debido a la ausencia de mediciones de las condiciones higrotérmicas interiores que regulen la necesidad de las mismas. Ello provoca la existencia de períodos en los que se activan radiadores eléctricos individuales de gran consumo (debido a que el sistema de calefacción del edificio no garantiza el confort), o bien sistemas individuales de refrigeración, que en ocasiones se quedan encendidos sin presencia de personas en las diferentes estancias. En un año se consumen unos 60 metros cúbicos de gasoil en Politécnica.
- Consumo no eficiente de la energía eléctrica para iluminación, y espacios con falta de la luminancia necesaria poner datos de luminancia y valores según norma.
- Mala calidad del aire interior debido a la falta de ventilación que supone altas concentraciones de CO_2.
- Falta de confort higrotérmico en los espacios, alternando períodos muy fríos, con otros demasiado calientes, incluso en períodos estacionales de contrarias sensaciones.
- Falta de organización en el uso de los espacios, por el desconocimiento del uso real el cual presenta grandes variaciones respecto a lo planificado.

A través de la convocatoria 2012-2013 de infraestructura Científico-Tecnológica del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España, SmartPoliTech pudo dotarse de una parte importante del equipamiento necesario para la sensorización y monitorización del estado del mismo, con un presupuesto de 140.000 €. Esta dotación permitió la instalación del equipamiento necesario para la captura y visualización de la siguiente información:

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

- El estado ambiental del espacio a partir de la temperatura, humedad, CO_2 y calidad del aire, que permite conocer la situación de confort del usuario.
- El consumo y eficiencia energética a partir de la monitorización de las calderas de gas y bombas de calor y frío existentes, de la transmitancia de los paramentos y de parámetros de confort adaptados a los diferentes espacios de trabajo. Generación y uso de modelos predictivos que incluyan datos estacionales, que se anticipen a las variaciones meteorológicas y tengan en cuenta el uso real de los espacios.
- La actividad humana a partir de una red de cámaras IP de interior y exterior y de algoritmos de procesamiento de imagen que proporcionan estimaciones cuantitativas y cualitativas del número de personas y el tipo de actividad en el que están involucradas.
- El estado de las zonas ajardinadas que rodean los edificios y forman parte de la vida diaria de las personas que acuden a la Universidad, mediante sensores de temperatura, humedad ambiental y del suelo.

También se adquirieron actuadores que permiten modificar el estado de los edificios con el fin de optimizar diferentes parámetros como:

- El consumo energético de electricidad mediante la optimización del encendido de radiadores y climatizadores en aulas y despachos.
- Generación de avisos, al usuario y a los conserjes, ante situaciones de olvido en la desconexión de aparatos de climatización
- El consumo energético en calefacción y refrigeración mediante una climatización de los espacios dependiente de su uso, clases, horarios, ocupación estimada, duración del evento, etc.
- El acceso controlado a los diferentes espacios.
- El control y prevención de fugas de agua en baños y laboratorios.
- La mejora del control de presencia para los servicios de seguridad.
- La optimización de los planes de evacuación en función del número y distribución de personas en los edificios.
- El control avanzado y desasistido del riego de las zonas ajardinadas, exteriores e interiores, que integran los espacios inteligentes.

El nivel de sensorización, monitorización y la capacidad de actuación sobre múltiples sistemas del centro, junto con la disponibilidad de la información generada, el sistema de almacenamiento cloud avanzado, las nuevas técnicas de visualización web 3D y la creación de modelos formales de diferentes aspectos del funcionamiento de un sistema tan complejo como un conjunto de edificios de uso público dedicados a la vida académica, pueden llegar a transformar radicalmente el funcionamiento y el uso de la Escuela Politécnica. Cada elemento de la relación de equipamiento solicitada, encaja perfectamente en lo que se está empezando a llamar sistema nervioso de los espacios inteligentes. El nuevo equipamiento se integra con las modernas redes de comunicación por cable e inalámbricas existentes, completándolas para evitar que el despliegue de la red de sensores y cámaras reduzca el ancho de banda existente. De igual forma, los

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

recursos actuales de procesamiento y almacenamiento se expanden para dar cabida a una arquitectura cloud basada en bases de datos NoSQL distribuidas y de alta disponibilidad que se están desarrollando actualmente y que, además, darán servicio a proyectos de transferencia con empresas e instituciones de diferentes sectores productivos extremeños.

Como puede verse, las condiciones del entorno descrito no difieren sensiblemente del estado en que se encuentra la generalidad de espacios destinados a uso público en el estado español. Este es uno de los motivos que potencian el proyecto SmartPolitech como gérmen científico-tecnológico para la transformación de edificios de uso público en espacios inteligentes, energéticamente eficientes y socialmente confortables.

3. Arquitectura software

El diseño e implementación de la arquitectura de SmartPoliTech es un trabajo en curso actualmente, pero en el que ya se han dado alguno pasos importantes. El requerimiento general que se planteó en las primeras etapas de concepción del proyecto fue que se definiera un marco de trabajo que facilitara el análisis, desarrollo y evaluación de las nuevas y diferentes tecnologías relacionadas con la construcción de espacios *smart* que pudieran ir apareciendo. Como marco conceptual se planteó seguir la línea de los sistemas ciber-físicos [2]. En este sentido, el objetivo de SmartPoliTech es construir una suerte de clon digital de la EPCC, que co-simula con su homólogo real el paso de los eventos que acontecen. La versión digital se mantiene conectada en tiempo real a la versión física mediante la red de sensores y actuadores desplegada. Esta conexión tiene dos objetivos:

- Mantener sincronizada la versión digital y evitar que el ruido, la resolución y la baja calidad inicial de los modelos de simulación hagan diverger uno de otro.
- Mejorar con el tiempo los modelos que simulan a la realidad observada, utilizando la diferencia entre la predicción de la simulación y la medida real como magnitud a minimizar.

La construcción de un clon digital fiable de un sistema complejo como la EPCC está obviamente fuera de las posibilidades tecnológicas actuales. Es por ello, que un proyecto de este tipo debe plantearse como paraguas de trabajo multidisciplinar bajo el que arrancar proyectos concretos que proporcionen el empuje y la financiación necesaria. Con este planteamiento se definieron los siguientes requerimientos iniciales:

- La arquitectura debería ser lo más distribuida posible, para poder desacoplar fácilmente sus elementos constituyentes, permitir un escalado horizontal y facilitar el trabajo colaborativo entre los desarrolladores y a lo largo de periodos de tiempo extensos.

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

- Debería permanecer abierta a la incorporación de las nuevas tecnologías que vayan surgiendo en las diferentes dimensiones del universo *Smart*.
- Debería estar organizada en torno a una pila inicial de herramientas de desarrollo orientada a lo que se conoce como integración libre continua (FCI) [6] del software, y al trabajo colaborativo.

A partir de estas reflexiones se definieron las siguientes funcionalidades iniciales:

- Sensorización, que abarca la selección de tecnologías de medida y su ubicación adecuada en los edificios del centro.
- Protocolos de acceso y middleware de adaptación, para normalizar y simplificar el mantenimiento de los sensores y actuadores instalados.
- Persistencia de datos que cubre el almacenamiento de históricos de todas las series de datos recibidas y también el almacenamiento de otras estructuras de información, espaciales, administrativas, operativas, etc. que conforman el clon digital del Centro.
- Visualización, en diferentes formatos y con diferentes fines del estado pasado, presente y futuro (predictivo) del clon.
- Modelos de simulación, que permiten crear la dinámica de generación de eventos en el universo digital del clon y que deben correlar con los eventos reales medidos a través de sensores y otros dispositivos digitales.
- Estrategias de persuasión, para modificar la conducta de los habitantes y usuarios del Centro y obtener mejoras cuantificables de confort, eficiencia, y habitabilidad.

4. Sensorización y Despliegue

El análisis previo de la orientación de los edificios, la localización de puntos críticos determinantes respecto a las condiciones térmicas, la identificación de elementos constructivos relevantes para el estado de conservación de los mismos, la determinación del nivel de actividad de las diferentes estancias y la selección de contadores, llaves de paso y puntos neurálgicos del sistema energético del edificio, representó el punto de partida para llevar a cabo un cuidado proceso de sensorización que permitiera medir el conjunto de variables representativas del estado de los edificios. La figura 2 presenta una muestra representativa de la ubicación de algunos sensores a lo largo de los edificios de la Escuela Politécnica.

El despliegue de dispositivos inalámbricos y el trabajo de cableado distribuido por los edificios de la EPCC no ha estado exento de problemas. La inclusión en poco tiempo de una gran cantidad de elementos sobre la infraestructura de comunicaciones existente puede saturar los puntos de acceso Wifi instalados u ocupar rápidamente todas las bocas de los conmutadores de zona disponibles. Es necesaria una buena planificación previa, inversión en la compra de equipos y acuerdos para definir protocolos de funcionamiento. Después de varios intentos, cambios y negociaciones, la configuración por la que se ha optado es la que se muestra en la Figura 3:

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

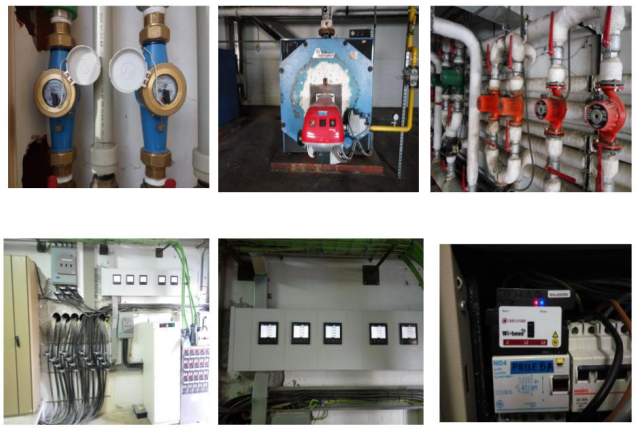


Figura 2: Detalle de sensores instalados en la EPCC.

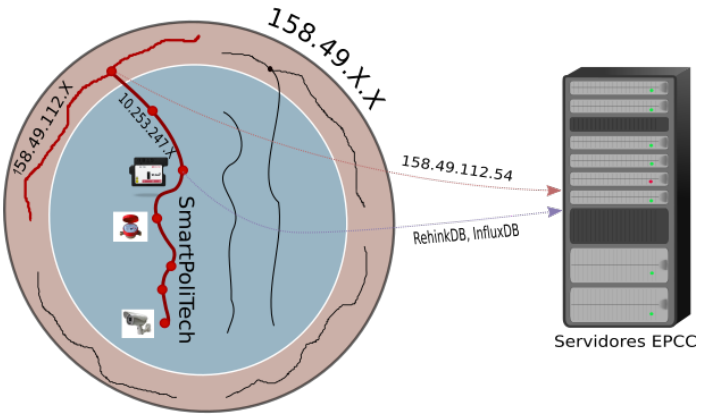


Figura 3: Configuración de red para SmartPoliTech. En la parte izquierda de la figura, el círculo representa el dominio Internet actual de la Universidad de Extremadura. La corona externa contiene las subredes expuestas al exterior y el círculo interior contiene las subredes privadas. SmartPoliTech tiene un nodo expuesto al exterior *http://smartpolitech.unex.es* y un segmento completo interno al que se conectan todos los dispositivos, sensores y actuadores del sistema. En la parte derecha se muestra el servidor de virtualización que da soporte a la recepción, almacenamiento, procesado y visualización de datos.

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

- Se ha habilitado una red privada en la Wifi institucional a la que los dispositivos inalámbricos acceden con contraseña. Para no saturar los *slots* de los puntos de acceso existentes y para mejorar la cobertura se adquirieron e instalaron 10 nuevos puntos de acceso.
- Se ha asignado un segmento de red privada con un espacio de direcciones común para los dispositivos inalámbricos y para los dispositivos conectados a los puntos de red habilitados con este fin. Se ha aumentado el número de bocas disponibles en los conmutadores de zona.
- La red privada se conecta a un segmento visible desde el exterior mediante un nodo, máquina virtual, con dos tajetas (ver Figura 3). Todos los elementos de la red privada tienen salida al exterior gracias a una configuración NAT realizada en el *firewall* institucional.

Todo los elementos de almacenamiento y proceso se han creado como máquina virtuales sobre un armario de servidores existente, pero que se ha ampliado en procesadores y disco convenientemente para el proyecto. Todo el armario está virtualizado con Proxmox [11], lo que permite ir obteniendo más máquinas virtuales o espacio en disco a medida que se necesite. La configuración de servidores actual se resume en los siguientes puntos:

- Una maquina visible desde el exterior, para lo que se la ha dotado con dos tarjetas de red, una a la red privada y otra a un segmento con acceso desde el exterior. Esta máquina es localizable como *smartpolitech.unex.es* y en ella se ubica el servidor web que sirve la página del proyecto y también un controlador REST que recibe los datos de los dispositivos desde la red interna.
- Una segunda máquina de desarrollo también visible desde el exterior en la que investigadores y estudiantes pueden trabajar sin interferir con la máquina de producción.
- Una máquina de almacenamiento en la red interna donde se ejecuta la base de datos RethinkDB [12].
- Una máquina en la red interna donde se ejecuta el software de visualización Grafana [7] y en la que también se encuentra la base de datos de series temporales InflukDB [9] donde se replican los datos de los sensores por la conexión que ofrece con Grafana.

5. Validación experimental y resultados

Como parte de la infraestructura de visualización del proyecto, se han instalado seis pantallas de grandes dimensiones, 60", distribuidas en puntos estratégicos de paso de cada uno de los edificios. Estos monitores están controlados por un ordenador de bajo cose, Odroid X2, con Linux y en los que se ejecuta un navegador que carga una única página desde un servidor dedicado de la red privada. Esta máquina aloja un subproyecto que hemos denominado SmartPoliTechTV, y que ofrece con una solución técnica sencilla un prototipo de televisión social.

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

La página que se visualiza en los monitores del centro o cualquier otro dispositivo con un navegador, presenta una parrilla de contenidos que se van mostrando secuencialmente a lo largo del día. Uno de los contenidos más importantes que se muestran en esta televisión social son los gráficos que ofrece el software Grafana, instalado en otro de los servidores de la red. Grafana permite configurar *dashboards* combinando de múltiples formas las medidas almacenadas en la base de datos InfluxDB. Se han creado varias de estas pantallas mostrando los aspectos más relevantes de las medidas de los sensores, diferentes agrupaciones, conversiones a coste económicos, etc. Ver Figura 4.

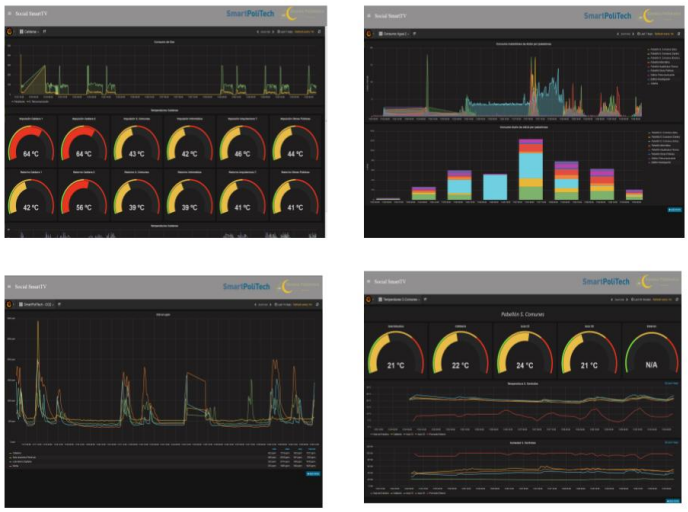


Figura 4: *Dashboards* de Grafana utilizados en SmartPoliTech.

Aunque SmartPolitech contempla una última fase de predicción y actuación automatizada, la implicación del personal de conserjería del centro en la visualización e interpretación de las gráficas mostradas en los monitores y a través de la aplicación web supone un elemento imprescindible para el éxito del proyecto. En nuestro caso, esta implicación se ha manifestado desde el inicio, permitiendo una rápida actuación ante la evidencia de anomalías como las que se describen a continuación.

5.1. Anomalías en el consumo de agua

La Figura 5 muestra un gráfico con el consumo de agua en los distintos pabellones. En este gráfico se puede observar un consumo de agua no esperado durante el periodo nocturno. La vigilancia actual de estos gráficos por parte del personal de conserjería permitió detectar y corregir rápidamente una fuga de

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

agua en una cisterna de uno de los cuartos de baño. A partir de ese momento, la implicación de este personal en la monitorización de las gráficas de consumo ha permitido detectar y corregir múltiples incidencias similares. Se están escribiendo distintos programas que se encargarán de detectar automáticamente estas anomalías analizando los datos disponibles, enviando una alarma cuando se detecte alguna anomalía.

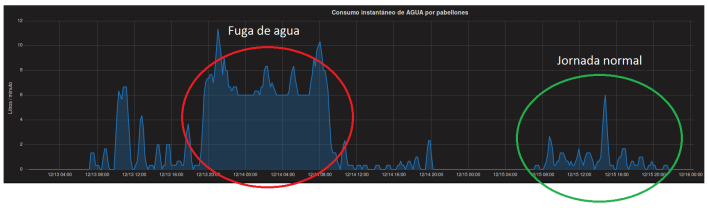


Figura 5: Detección de anomalía en el consumo de agua.

5.2. Anomalías en el consumo eléctrico

También han sido detectadas anomalías en el consumo eléctrico de alguno de los pabellones. En la Figura 6-a se observa un consumo eléctrico excesivo durante el periodo nocturno. Una vez analizado el problema se detectó que el causante de este consumo era el sistema de central de climatización que seguía consumiendo energía en periodos en los que no debería estar funcionando. Se automatizó la puesta en marcha y parada del sistema de climatización, reduciendo así el consumo de energía en aproximadamente 25 kWKh al día. La Figura 6-b muestra la reducción del consumo eléctrico en los periodos nocturnos.

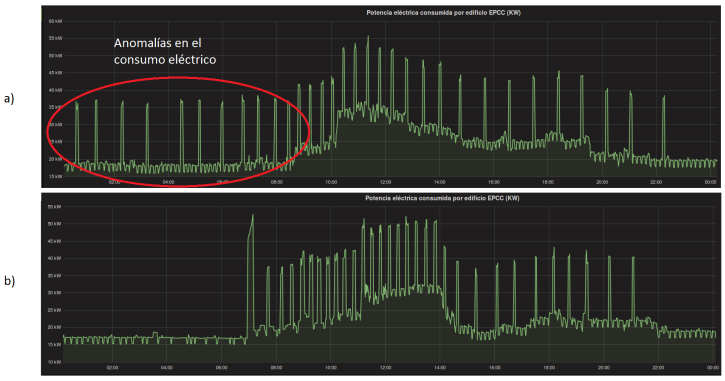


Figura 6: Detección de anomalía en el consumo eléctrico.

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

5.3. Anomalías en el confort higrotérmico

Asimismo ha sido posible conocer el comportamiento higrotérmico diferenciado de las diversas estancias de la escuela: aulas, despachos, y zonas comunes, y comprobar si existía situación de bienestar en ellos. De este modo se ha comprobado la necesidad de anticipar el arranque de calefacción diaria, y el de los lunes después del fin de semana sin actividad para garantizar el confort en las primeras horas de trabajo: 8 horas de la mañana (Figura 7). En esta línea, además se han identificado las zonas más frías de la escuela (Aula A5, en Figura 7) que obligará a la intensificación de la calefacción por áreas diferenciadas. En este análisis higrotérmico también se ha comprobado el comportamiento genérico de la envolvente del edificio frente a las temperaturas extremas exteriores: máximas y mínimas, denotando una respuesta lenta lo que responde a un aislamiento adecuado (Figura 8).

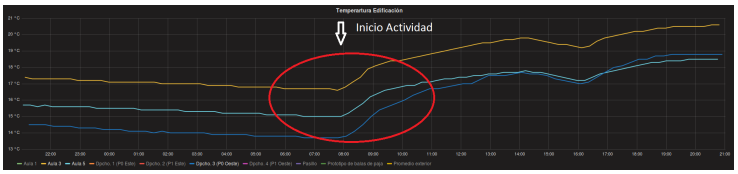


Figura 7: Detección de anomalía en el confort higrotérmico.

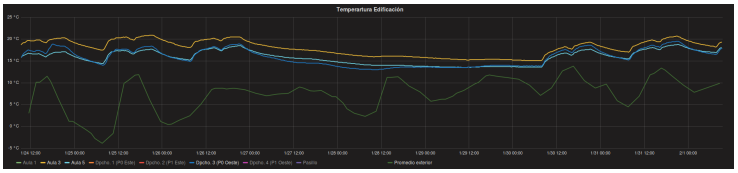


Figura 8: Análisis higrotérmico.

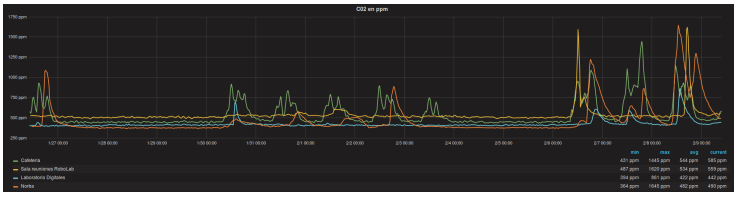


Figura 9: Detección de anomalía en la calidad del aire

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JSBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

5.4. Anomalías en la calidad del aire

Con la sensorización de las aulas se han localizado los espacios que, por sus concentraciones altas de anhídrido carbónico, no son adecuadas para el desarrollo de cualquier trabajo (Figura 9). Este hecho lleva consigo impulsar acciones de ventilación periódica y controlada (para no aumentar el gasto de calefacción) que deben ser asumidas por el personal de la Escuela Politécnica. Asimismo se ha podido comprobar que los edificios que componen el Centro presentan altas infiltraciones de aire que provocan que los valores altos máximos experimenten siempre e inmediatamente un descenso (Figura 9).

6. Conclusiones

La iniciativa SmartPoliTech es, por sus características y hasta donde nosotros sabemos, la primera de este tipo que se lleva a cabo en España. A pesar de las dificultades encontradas para su puesta en marcha, pensamos que es un esfuerzo que va a mostrar su valor en los próximos años. El auge actual de los sistemas cíber-físicos en sus múltiples modalidades tiene dos vertientes relevantes: a) la dificultad que supone la integración de diferentes tecnologías de la información en sistemas de gran tamaño y conectados al mundo exterior mediante sensores y actuadores; y b) la aparición de nuevas fuentes de financiación para la investigación que pueden ser utilizadas para impulsar muchos campos afines. Para poder avanzar con estos sistemas es necesarios disponer de entornos experimentales acordes donde sea posible validar los desarrollos, algoritmos y sistemas generados. En este sentido SmartPoliTech es una herramienta de alto valor con la que probar tecnologías y medir el efecto de las acciones que se tomen sobre el entorno. Los primero pasos han mostrado ya la utilidad del proyecto y han dado lugar a resultados iniciales como nuevas estrategias de despliegue de sensores, análisis de tecnologías comerciales de sensorización, diseño y fabricación de sensores fiables de calidad industrial, visualización pública de la evolución de las variables de interés, detección de anomalías e implicación de sectores clave del personal de servicios en los objetivos de optimización de recursos.

El proyecto seguirá su andadura con la búsqueda de más recursos para extender la actual red de sensores y actuadores, y con el modelado de los diferentes sistemas físicos existentes en las EPCC y su uso en la detección automática de anomalías.

Agradecimientos Este trabajo está financiado por la Junta de Extremadura y por la Unión Europea (fondos FEDER). Agradecer a todos los grupos de investigación de la Escuela Politécnica que han participado en el proyecto de Infraestructuras del Ministerio de Economía y Competitividad, Ref. UNEX131E1716. Dicha inversión ha sido realizada en el Centro con apoyo institucional como proyecto corporativo para la propia Escuela Politécnica y la Universidad de Extremadura.

Sánchez, A., Barrena, M., García, P., Montalbán, B., Bustos, P.: SmartPoliTech: un experimento en inmótica social. In: Ruiz, F. (ed.) Actas de las XXII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos (JISBD 2017). Sistedes (2017). https://hdl.handle.net/11705/JISBD/2017/021

Referencias

1. W. T. Agarwal Y., Balaji B., Gupta R., Lyles J., Wei M., "Occupancy-driven energy management for smart building automation," in 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy- Efficiency in Building, 2010, pp. 1–6.
2. Patricia Derler, Edward A. Lee, Alberto Sangiovanni-Vincentelli. "Modeling Cyber-Physical Systems". Proceedings of the IEEE (special issue on CPS), 100(1):13-28, January 2012.
3. D.K. . Diakaki, E. Grigoroudis, Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings, Energy Build. 40 (2008) 1747–1754.
4. European Parliament, "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May2019 on the energy performance of buildings". 2010
5. M. de Fomento, "Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la directiva 2012/27/UE". Available: http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/PLANES/ELPRESEEESP/. 2014.
6. Fowler, Martin, and Matthew Foemmel. Çontinuous integration."Thought-Works) http://www. thoughtworks. com/Continuous Integration. pdf (2006): 122.
7. Grafana, Beautiful metric and analytic dashboards. http://grafan.org. Acceso Febrero, 2017.
8. IDAE, "Documento intensidades energéticas 2014." [Online]. Available: http://www.idae.es/index.php/idpag.802/relcategoria.1368/relmenu.363/mod.pags/mem.detalle. 2014
9. Influxdb, the time series database. https://docs.influxdata.com/influxdb/v1.2/. Acceso Febrero, 2017.
10. B. Ojeda, J.F. y Delgado, Conclusiones sobre áreas metropolitanas y sostenibilidad, in: Los Procesos Metrop. Mater. Para Una Aproximación Inicial, Junta de A, Sevilla, 2006: pp. 103–105.
11. Proxmox Virtual Environment, https://www.proxmox.com/en/. Acceso Febrero, 2017.
12. RethinkDB, the open source database for the realtime web. https://www.rethinkdb.com/. Acceso Febrero, 2017.
13. Sánchez-Revilla, M. A., and P. Villa. .Estudio INFOADEX de la inversión publicitaria en España 2011.Resumen. INFOADEX, SA Disponible en http://www. infoadex. es.[Links] (2014).