



Colaboración intercentros universitarios para el aprendizaje-servicio

Socio-emotional skills and their influence on perception and academic performance in natural science

Jorge Gallego Sánchez Torija ^{1*}, Javier García Martín ²

¹ Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. jorge.gallego@upm.es

² Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos, Universidad Politécnica de Madrid. javier.garciam@upm.es

* Corresponding author email: [email: jorge.gallego@upm.es](mailto:jorge.gallego@upm.es)

Recibido: 21/04/2019 | Aceptado: 18/07/2019 | Fecha de publicación:
31/08/2019 DOI: 10.20868/abe.2019.2.3989

TITULARES

- Aprender a trabajar en equipos multidisciplinares resulta enriquecedor.
- Alumnos de informática desarrollan nodos sensores para obtener datos.
- Alumnos de arquitectura usan los datos para estudiar la eficiencia energética.
- Juntos prestan un mejor servicio a la sociedad.

HIGHLIGHTS

- Learning to work in multidisciplinary teams is enriching
- Computer systems engineer students develop sensor nodes to obtain data.
- Architecture students use the data to study energy efficiency.
- They provide together a better service to society.

RESUMEN

La sociedad precisa personas preparadas en distintas competencias para llevar a cabo tareas complejas. Además, las soluciones a los problemas de la sociedad actual requieren la cooperación de diferentes disciplinas ¿Podemos ayudar a los estudiantes universitarios a aprender a trabajar en equipos multidisciplinares? Realizar una auditoría energética es una labor compleja. Para analizar el comportamiento energético de un edificio es preciso manejar diversas variables en procesos dinámicos y cambiantes. Si no se cuenta con unos datos de partida precisos, los errores en las conclusiones pueden resultar significativos. Pero, por otro lado, también se puede caer en la pretensión de un exceso de precisión que hace inviable el trabajo de campo para la toma de datos y que aporta muy poco más a las conclusiones finales. Alumnos de informática y alumnos de arquitectura pueden aportar visiones complementarias para abordar con más éxito el problema del estudio de la eficiencia energética de los edificios.

Inicialmente, alumnos de Grado de Ingeniería de Sistemas Informáticos discuten con estudiantes de Grado en Fundamentos de Arquitectura las especificaciones del proyecto (variables a medir, características del edificio, estructura de los datos, etc.). Basándose en estas especificaciones, diseñan la infraestructura informática necesaria, fundamentalmente una red de sensores, un sistema de comunicación y un sistema de almacenamiento que permita el posterior análisis. Por su parte, los alumnos de arquitectura reciben los valiosos datos aportados. En primer lugar, tienen que aprender a manejar, analizar e interpretar la gran cantidad de datos recogidos. Además, obtienen un fundamento empírico que les permite obtener conclusiones validadas por los datos obtenidos. Además de manejar datos estadísticos y resultados que ofrecen las simulaciones, tienen acceso a los datos reales recogidos in situ, lo que permite afinar en las conclusiones. En el proceso ambos alumnos enriquecen su trabajo mutuamente. Los alumnos de arquitectura explicitan sus necesidades y los alumnos de informática vuelcan su esfuerzo en dar respuesta a las demandas de un problema real y de gran utilidad que les permite desarrollar competencias técnicas y transversales. Por último, la sociedad también sale beneficiada de este proceso de aprendizaje compartido. Más concretamente la Escuela de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid ofrece un aula donde llevar a cabo la auditoría energética y recibe de manera desinteresada el fruto del aprendizaje.

Las conclusiones del estudio le permiten acometer medidas de mejora en el desempeño energético del aula. Obtiene una hoja de ruta que le permite acometer las inversiones que pueda realizar con unos criterios de rentabilidad acertados. Pero también la sociedad en general se ve beneficiada, dado que las medidas que la Escuela de Minas pueda acometer redundan en una reducción del consumo energético, lo que implica una reducción de las emisiones de CO₂ y, por tanto, cierta mitigación del cambio climático, tan urgente en el momento actual. En el curso 2018-2019 una estudiante de arquitectura y dos de informática han realizado sus respectivos TFG y PFM en este contexto, obteniendo unos resultados satisfactorios, tanto en el aspecto técnico como de aprendizaje.

Palabras clave: *aprendizaje y servicio; interdisciplinariedad; eficiencia energética; redes de sensores; trabajo en equipo.*

ABSTRACT

Society needs people with different skills to carry out complex tasks. In addition, solutions to the problems of today's society require the cooperation of different disciplines. Can we help university students to learn to work in multidisciplinary teams? Carrying out an energy audit is a complex task. In order to analyze the energy consumption of a building, it is necessary to manage several variables in dynamic and changing processes. In the absence of accurate initial data, the errors in conclusions can be significant. However, we can also fall into the trap of an excess of precision, which makes fieldwork for data collection unviable and which contributes very little more to the final conclusions. Computer science students and architecture students can provide complementary insights to address the problem of studying the energy efficiency of buildings more successfully.

Initially, students of Computer Science discuss with students in Architecture Fundamentals the specifications of the project (variables to be measured, characteristics of the building, data structure, etc.). Based on these specifications, they design the necessary IT infrastructure, basically a sensor network, a communication system and a storage system that allows subsequent analysis. On the other hand, the students in architecture receive the valuable data provided. First, they have to learn how to manage, analyze and interpret the large amount of data collected. In this way they have an empirical basis that allows them to draw conclusions validated by the data obtained. In addition to handling statistical data and results offered by the simulations, they have access to real data collected in situ, which allows them to fine-tune their conclusions. In the process, students of both fields mutually enrich their work. Architecture students explain their needs and computer science students focus their efforts on responding to the demands of a real and very useful problem that allows them to develop technical and transversal skills. Finally, society also benefits from this shared learning process. More specifically, the Escuela de Minas of the Universidad Politécnica de Madrid offers a classroom to carry out the energy audit and obtains the learning results in a disinterested way.

The conclusions of the study allow them to undertake measures to improve the energy performance of the classroom. They obtain a roadmap that allows them to undertake the investments they can make with the right profitability criteria. But society in general also benefits, since the measures that the Escuela de Minas may undertake result in a reduction in energy consumption, which implies a reduction in CO2 emissions and, therefore, some mitigation of climate change, so urgent at the present time. In the academic year 2018-2019 one architecture student and two computer science students have carried out their respective TFG and PFM in this context, obtaining satisfactory results, both in the technical and learning side.

Keywords: *learning and service, interdisciplinary, energy efficiency, sensor networks, teamwork.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1 El contexto de la auditoría energética

La auditoría energética es un instrumento para mejorar el ahorro y la eficiencia en energética en los edificios.

El Real Decreto 56/2016 define el concepto de auditoría energética como: “Todo procedimiento sistemático destinado a obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación u operación industrial o comercial, o de un servicio privado o público, así como para determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía a un coste eficiente e informar al respecto [1].”

Establecer el perfil de consumo en un edificio es una labor compleja en la que se requiere manejar diversas variables de procesos termodinámicos cambiantes a lo largo del tiempo.

El coste económico de la realización de una auditoría energética implica un importante desincentivo para su realización. Si se trabaja con datos estadísticos y valores habituales, los resultados pueden alejarse mucho de la realidad. Si se pretende conocer en detalle el consumo que se realiza por cada equipo consumidor de energía, resulta necesaria una importante inversión en instrumentación para llevar a cabo dichas mediciones

Métodos simplificados de análisis como los que proponen diversos autores como Gallego [2] o Moss [3] posibilitan ofrecer unas conclusiones acerca del desempeño energético en los edificios sin necesidad de encarecer el proceso de toma de datos. Ambos métodos simplifican la toma de datos inicial para poder ofrecer

conclusiones significativas sin tener que realizar un importante desembolso inicial.

Por otro lado, el enfoque que busca una pretendida mayor precisión es defendido por autores como Vicente [4] o García [5] que no cuestionan la utilización de una profusa instrumentación para obtener valores puntuales de consumo de energía. Con los valores puntuales obtenidos no queda más remedio que intentar averiguar el comportamiento mantenido a lo largo del tiempo. Se pasa de los dos decimales al número gordo en dicho proceso, con lo que la pretendida precisión no se consigue.

Y, aunque se pudiese financiar la toma de datos durante un año entero para limitar las incertidumbres, no resultaría posible eliminarlas por completo. Esto se debe a que hay datos de partida que pueden sufrir modificaciones como los datos climáticos y datos en el final del proceso que también varían de manera no fácilmente predecible como los precios de los suministros energéticos y los precios de las obras a realizar para mejorar la eficiencia energética.

Por eso autores como Krarti [6], en su aproximación desde el punto de vista del ingeniero a las auditorías energéticas en los edificios, son más conscientes de dichas limitaciones y profundizan en la materia sin caer en el dogmatismo de tomar datos de manera indiscriminada.

Teniendo en cuenta esta situación en la que se encuentran las auditorías energéticas, se pretende dar un enfoque multidisciplinar para avanzar en la cuestión.

El conocimiento que se tiene desde la arquitectura del desempeño energético de los edificios se ve complementado con el conocimiento que se aporta desde la

informática de la capacidad de medir datos empíricos y de comunicar dichos datos medidos a un servidor desde el que pueden ser tratados.

Con un enfoque general del problema a abordar aportado por la arquitectura, desde la informática se aporta una obtención de datos que resulta económica y que se puede mantener en el tiempo más allá de una mera toma de datos puntual.

1.2 Objetivos educativos

Además, se pretende que este enfoque multidisciplinar se desarrolle dentro del ámbito del aprendizaje. El objetivo docente es poner en contacto alumnos de distintas titulaciones para que trabajen en equipo en la resolución de un problema. Así, alumnos de Grado de Ingeniería de Sistemas Informáticos trabajan con estudiantes de Grado en Fundamentos de Arquitectura conjuntamente para abordar un reto en el contexto de la auditoría energética.

En primer lugar tienen que definir las necesidades de toma de datos para el desarrollo de la auditoría energética y por otro lado tienen que verificar que dichas necesidades se ajusten a las posibilidades de obtener los datos necesarios.

Fruto de dicha colaboración se establecen las variables a medir, en función de las características del edificio a auditar, y la estructura de los datos a obtener para su posterior manejo y análisis. Basándose en dichas especificaciones, se diseña y se monta la infraestructura informática necesaria, compuesta de una red de sensores, un sistema de comunicación y un sistema de almacenamiento de los datos recogidos.

Una vez recogidos dichos datos, se analizan e interpretan por parte de los alumnos de

arquitectura. Con dichos datos se puede calibrar el estudio energético que se realiza por procedimientos más simplificados, de manera que se alcanza mayor precisión sin necesidad de encarecer en exceso el proceso, ya que la toma de datos se realiza con aparatos sencillos modulares y programables realizados por los alumnos de informática.

Se logra de esta manera superar las dificultades que presentan ambos enfoques existentes para la realización de las auditorías energéticas. Las auditorías simplificadas adolecen de menor precisión, mientras que las auditorías más precisas son excesivamente caras de llevar a cabo. Con el despliegue de sensores baratos se obtienen datos reales recogidos in situ durante más tiempo que, lo que permite afinar en las conclusiones finales.

1.2 Aprendizaje-Servicio

Por último, se pretende que el proceso de aprendizaje suponga un servicio a la sociedad. En ese sentido se busca que el proceso de aprendizaje compartido se realice estudiando el desempeño energético de un espacio que trabaje en beneficio de la sociedad y que a su vez se pueda ver beneficiado con los resultados que ofrece dicho estudio. Se escoge el aula Atlantic Copper de la Escuela de Minas y Energía de la Universidad Politécnica de Madrid, cuya imagen se puede observar en la figura 1. Las conclusiones de la auditoría energética posibilitan a la Escuela de Minas poner en práctica medidas de mejora de la eficiencia energética en función de su viabilidad técnico-económica. El resultado de aprendizaje es una hoja de ruta que indica qué inversiones puede realizar con unos criterios de rentabilidad acertados.

Además, se fomenta la multidisciplinariedad al integrar a una tercera escuela universitaria en el proceso.

Adicionalmente la sociedad en general también se ve beneficiada en el proceso de aprendizaje

y servicio. Las medidas de mejora de la eficiencia energética que se implementen redundan en una reducción de las emisiones de CO₂ y, por tanto, en cierta mitigación del cambio climático, tan urgente en el momento actual.



Fig. 1. Imagen exterior e interior del aula Atlantic Copper.

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El soporte informático consiste en un conjunto de seis nodos de sensores que conforman una red inalámbrica y un concentrador que recoge los datos medidos por cada nodo de sensores con una frecuencia preestablecida. La comunicación inalámbrica facilita la ubicación física de los sensores en el sitio más adecuado. El concentrador, con conexión a la red de comunicaciones, se encarga de enviar los datos a un servidor de base de datos y un panel para su visualización gráfica en la web. Este trabajo fue realizado por el alumno Héctor Humanes como Trabajo Fin de Máster [7] en la titulación de Máster en Software de Sistemas Distribuidos y Empotrados de la E.T.S.I. de Sistemas Informáticos.

Cada nodo de sensores dispone de un sensor DHT22 para la medición de la temperatura y

humedad, junto con una fotorresistencia para medir la intensidad lumínica. En este primer prototipo los nodos sensores se han implementado mediante tarjetas Arduino UNO [8]. Estos dispositivos utilizan un microcontrolador ATmega328P y disponen de puertos analógicos y digitales que facilitan la conexión de diferentes sensores para un prototipado rápido y sencillo. Hay que resaltar que el objetivo de este proyecto ha sido el diseño, implementación y despliegue del sistema que permitiese tomar las mediciones de una manera rápida, centrando el esfuerzo en la configuración del sistema. En un futuro habría que valorar la tecnología más apropiada para llevar a cabo este tipo de proyectos, teniendo en cuenta variables como el coste, la fiabilidad y las prestaciones que ofrecen.

Tal y como se especifica en [7], como sistema de comunicaciones “se ha optado por la

tecnología Zigbee [9] de comunicación inalámbrica, la cual está regulada y estandarizada por la Zigbee Alliance [10]. Esta tecnología es adecuada para la radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Entre las principales ventajas de esta tecnología y que han resultado decisivas a la hora de emplearlas como tecnología y protocolo de comunicaciones destacan las siguientes: Adecuado para redes con transmisión de tramas reducidas; Bajo coste; Reducido consumo energético; Soporte nativo para diversas topologías de red; y Soporte a cifrado AES de 128 bits. Usando las características propias del protocolo de

comunicaciones Zigbee se ha establecido una topología de red en malla, en la que uno de los nodos funciona como coordinador”.

Siguiendo las características del sistema acordadas en la fase de requisitos, los nodos se dispusieron en una canaleta rígida para medir las variables físicas (humedad, temperatura y luminosidad) en tres alturas: 10, 70 y 170 centímetros del suelo, tal y como se puede apreciar en la figura 2.

El concentrador, implementado con una tarjeta Raspberry Pi 3 B+, comunica mediante un interfaz JSON [11] los datos recogidos a una base de datos NoSQL y a un panel de visualización ThingsBoard [12], mostrado en la figura 3.



Fig. 2. Nodos de sensores.

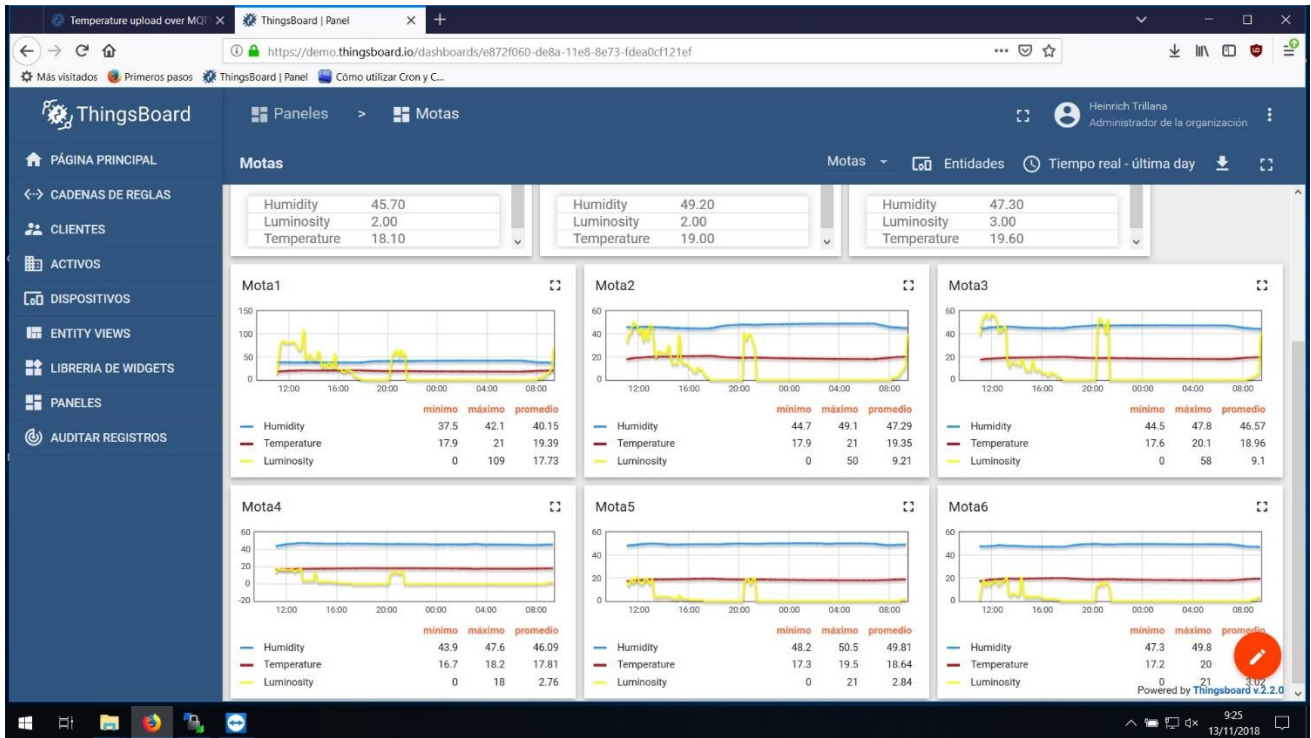


Fig. 3. Panel de ThingsBoard.

3 RESULTADOS

La campaña experimental descrita en el apartado anterior ofrece los datos de temperatura, humedad y luminosidad del interior del aula durante los días en los que se ha llevado a cabo. Parte de dichos datos se pueden observar en la figura 4.

Adicionalmente la Unidad de Tecnologías de la Información y Comunicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía, ha facilitado los datos de temperatura exterior obtenidos en la cubierta de su edificio.

Con ambas familias de datos, la alumna Nerea Díaz Rubio ha desarrollado su Trabajo Fin de Grado (TFG) titulado Mejora de la eficiencia energética en el aula Atlantic Copper [13]. Para el desarrollo del TFG, se caracteriza el aula Atlantic Copper, en cuanto a su ubicación, geometría, características constructivas de la

envolvente y sistemas de climatización e iluminación. Posteriormente se realiza una simulación energética mediante el software oficial Herramienta Unificada Lider Calener [8]. Dicha simulación se calibra con los datos obtenidos in situ, de manera que se puede ajustar el comportamiento simulado del consumo de energía en el edificio al consumo real que está presentando. Los resultados se pueden observar en la figura 5.

Con los datos de consumo obtenidos y la cuantificación del gasto económico que suponen, se procede a analizar distintas propuestas de mejora. Dichas propuestas se analizan ofreciendo datos de ahorro de energía que se produciría tras su implantación, ahorro económico, reducción de las emisiones de CO₂, inversión que es necesario acometer para la implantación de la propuesta de mejora y período de retorno simple de la inversión.

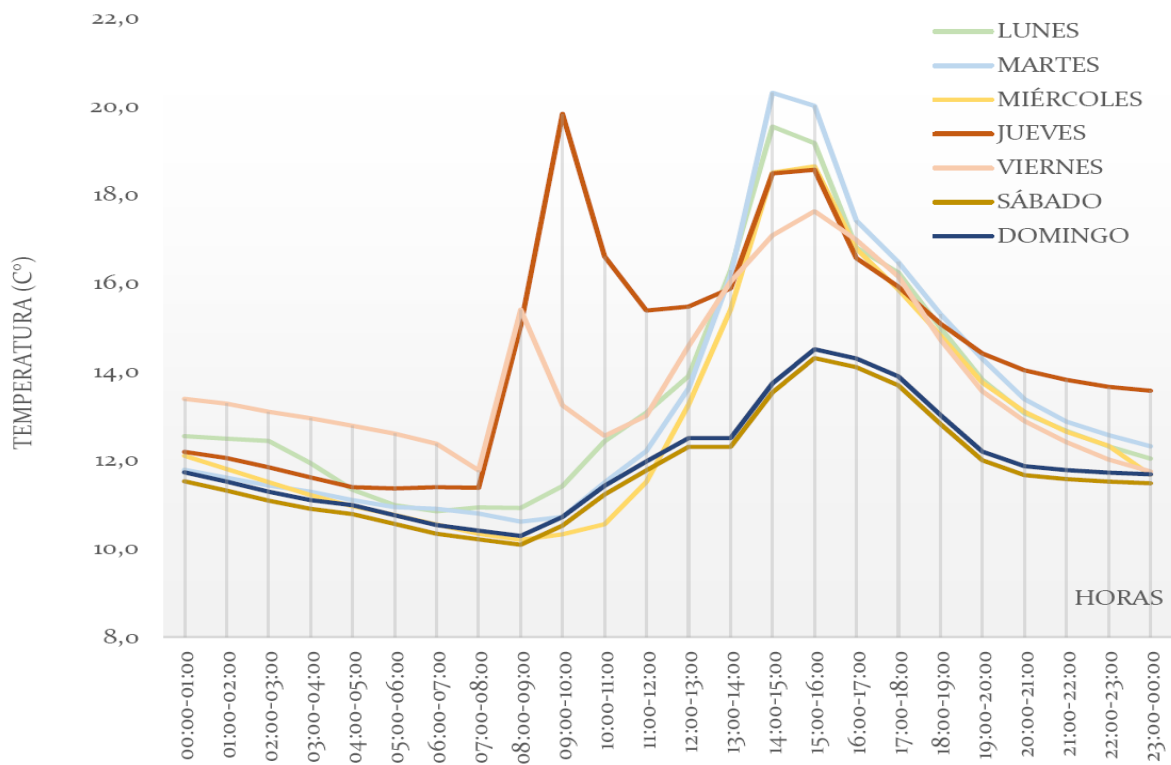


Fig. 4. Variación de la temperatura durante una semana tipo. Fuente: TFG Nerea Díaz [13].

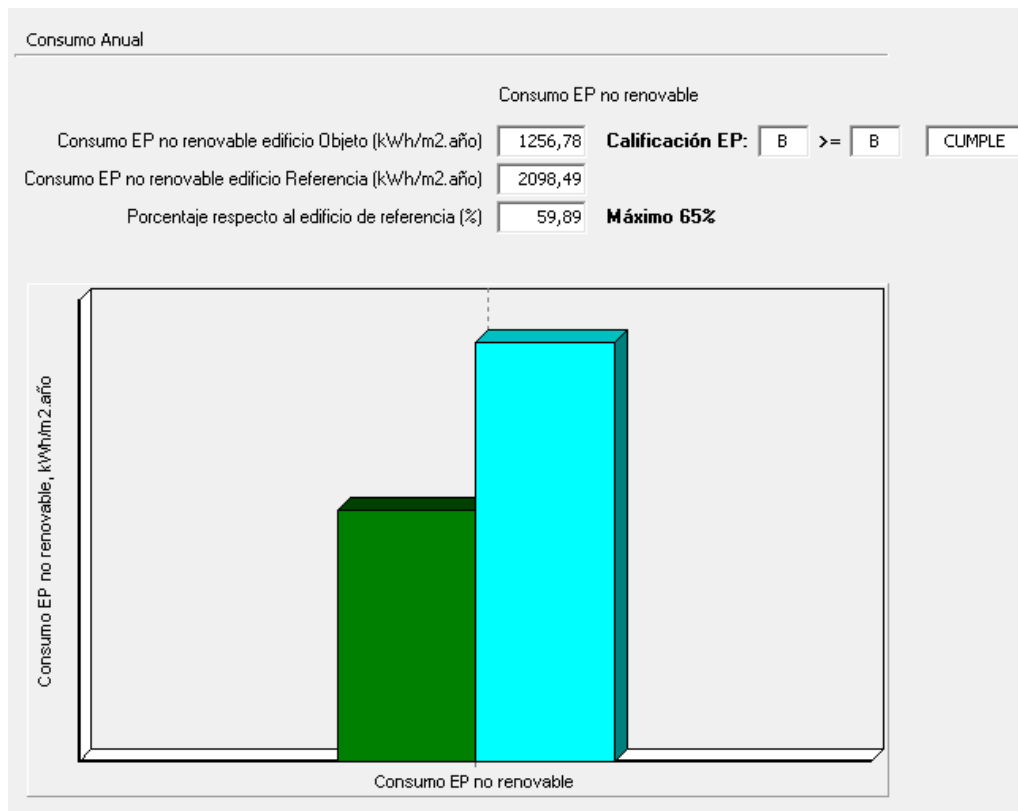


Fig. 5. Consumo de energía del aula según la simulación. Fuente: TFG Nerea Díaz [13].

Los datos obtenidos tras realizar dicho análisis se muestran en la tabla 1.

Denominación de la propuesta de mejora	Ahorro eléctrico anual (KWh)	Ahorro económico anual (€)	Emisiones de CO2 (t)	Inversión (€)	RSI* (años)
M1. Cambio de la bomba de calor	10.904,93	1.443,27	4,20	10.000	6,93
M2. Zonificación del sistema de climatización	625,65	82,81	0,24	1.000	12,1
M3. Instalación de un cronotermostato programable	352,51	46,66	0,14	500	10,71
M4. Instalación de aislante en fachada	1.183,6	156,66	0,46	511,4	3,26
M5. Introducción de un policarbonato en la cubierta para mejorar el aislamiento	30,8	4,1	0,02	1.260	307
M6. Instalación de tubos led	667,84	85,48	0,26	394	4,6
M7. Zonificación de la instalación de alumbrado	84,67	11,21	0,03	50	4,4
M8. Instalación de paneles fotovoltaicos	1236,28	1637,19	0,48	35200	21,5

Tabla 1. Análisis de las propuestas de mejora. Fuente: TFG Nerea Díaz.

Adicionalmente se recogen las siguientes mejoras no cuantificables:

- M9. Instalación de filtros solares en el policarbonato
- M10. Limpieza de los filtros
- M11. Concienciación
- M12. “Ventilación nocturna”
- M13. Cambiar horarios de encendido de la bomba de calor
- M14. Señalización

4 CONCLUSIONES

Tras el trabajo realizado por la alumna de arquitectura, se concluye que el aula presenta una elevada demanda energética. Para mejorar dicha situación, se obtiene un buen resultado mejorando el aislamiento térmico de la fachada, no así mejorando el aislamiento de la cubierta.

Esta conclusión resulta significativa dado que sin haber realizado este proceso de análisis se podría optar por intervenir mejorando el aislamiento de la cubierta, lo que no hubiera resultado muy útil.

En cuanto al consumo energético que presenta el aula, se concluye que son unos valores adecuados, aunque todavía presentan margen de mejora.

Las medidas estudiadas que ofrecen mejores resultados son la instalación de tubos led, la zonificación de la instalación de alumbrado y la sustitución de la bomba de calor por otra más eficiente.

Por último, se proponen una serie de mejoras que no resulta posible cuantificar, pero que resultan interesantes para profundizar en el ahorro y mejora de la eficiencia energética.

Tras la auditoría energética realizada se concluye que es posible mejorar la eficiencia energética y el ahorro económico, así como contribuir a mitigar el cambio climático, mediante la realización de una serie de inversiones cuya rentabilidad puede resultar atractiva para los gestores del edificio analizado.

En relación al sistema de sensores desplegado, se han obtenido unos resultados satisfactorios de la malla basada en las comunicaciones ZeegBee. Este sistema ofrece una configuración rápida y de prestaciones suficientes para los objetivos del sistema.

Por el contrario, aunque los nodos de sensores basados en la tecnología de Arduino han permitido un despliegue ágil y sencillo, en futuros trabajos se deberá considerar alternativas que ofrezcan más prestaciones, mayor fiabilidad y un menor consumo. Esto permitirá realizar despliegues de mayor envergadura.

La configuración general del sistema, basada en la red inalámbrica de sensores y un concentrador que transfiere los datos mediante el estándar JSON, ha resultado eficaz, versátil y escalable.

En cuanto al planteamiento multidisciplinar de la intervención realizada se concluye que el aprendizaje realizado ha resultado más enriquecedor debido a la intervención de alumnos con distintas formaciones. Los puntos

de vista diferentes han servido para complementar el trabajo unos de otros.

Los alumnos se sienten mejor preparados de cara a su desempeño profesional dado que han vivido una experiencia de entrenamiento más cercana a lo que su práctica profesional les va a suponer. Han incrementado su capacidad de trabajar en equipos multidisciplinares.

La oportunidad de haber desarrollado un aprendizaje de mayor calado por el hecho de trabajar codo con codo, ha supuesto un mayor grado de satisfacción en los alumnos, que han mantenido una gran motivación a lo largo del desarrollo de sus trabajos.

Además, al no circunscribirse su trabajo al ámbito de sus respectivas escuelas, sino que el desarrollo del mismo haya implicado un trabajo de campo, acerca el proceso de aprendizaje a la realidad de lo que se pueden encontrar en su futuro desarrollo profesional.

Finalmente, la experiencia de ver cómo el proceso de aprendizaje que desarrollan resulta útil para quien está trabajando en beneficio de la sociedad, en este caso la Escuela de Minas, llena de satisfacción personal a las personas involucradas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido la financiación de la Universidad Politécnica de Madrid a través del Programa de ayudas a la innovación educativa y a la mejora de la calidad de la enseñanza en su convocatoria de 2017 al estar enmarcado dentro del Proyecto “Actividades multidisciplinarias de Aprendizaje-Servicio: elaboración de una guía-soporte para el diseño e implementación de casos prácticos.”

REFERENCIAS

- [1] REAL DECRETO 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía. BOE, 13 de febrero de 2016.
- [2] Gallego, J. La auditoría energética operativa en centros docentes como herramienta para mejorar el ahorro y la eficiencia energética. (Tesis doctoral). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [3] Moss, K. J. Energy management in buildings. Taylor & Francis. Abingdon, Reino Unido, 2006.
- [4] Vicente, P. G.; AGUILAR, F. J. DTIE 18.04 Auditorías energéticas. Casos prácticos. Atecyr. Madrid, 2016.
- [5] García, R. Auditorías energéticas en edificios. Atecyr. Madrid, 2010.
- [6] Krarti, M. Energy audit of building systems: an engineering approach. CRC press. Boca Raton, FL, USA, 2016.
- [7] Diseño de un sistema para la monitorización de la eficiencia energética de edificios con soporte al despliegue ágil y la interoperabilidad. Héctor Humanes Pérez. Trabajo fin de Máster en el Máster Universitario en Software de Sistemas Distribuidos y Empotrados. E.T.S.I. de Sistemas informáticos. 2018.
- [8] Arduino UNO <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Última consulta 27 febrero 2019.
- [9] Zigbee. <http://www.zigbee.org/what-is-zigbee/>. Última consulta 27 febrero 2019.
- [10] Zigbee Alliance. <http://www.zigbee.org/>. Última consulta 27 febrero 2019.
- [11] JSON. <https://www.json.org/json-es.html>. Última consulta 27 febrero 2019.
- [12] ThingsBoard. <https://thingsboard.io/>. Última consulta 27 febrero 2019.
- [13] Díaz, N. Mejora de la eficiencia energética en el aula Atlantic Copper. (Trabajo fin de grado). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
- [14] Herramienta unificada LIDER-CALENER (HULC), Madrid: Ministerio de Fomento, 2016.