

Smart Lumini: A Smart Lighting System for Academic Environments Using IOT-Based Open-Source Hardware

Carlos-Andrés González-Amarillo; Cristian-Leonardo Cárdenas-García; Julián-Andrés Caicedo-Muñoz; Miguel-Angel Mendoza-Moreno

Citación: C.-A. González-Amarillo, C.-L. Cárdenas-García, J.-A. Caicedo-Muñoz, and M.-A. Mendoza-Moreno, “Smart Lumini: A Smart Lighting System for Academic Environments Using IOT-Based Open-Source Hardware,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 29 (54), e11060, 2020.

<https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.11060>

Recibido: Mayo 20, 2020; **Aceptado:** Junio 16, 2020;

Publicado: Junio 17, 2020

Derechos de reproducción: Este es un artículo en acceso abierto distribuido bajo la licencia [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Smart Lumini: A Smart Lighting System for Academic Environments Using IOT-Based Open-Source Hardware

Carlos-Andrés González-Amarillo¹

Cristian-Leonardo Cárdenas-García²

Julián-Andrés Caicedo-Muñoz³

Miguel-Angel Mendoza-Moreno⁴

Abstract

Rational energy consumption in large buildings depends on both the users' consumption culture and the management systems implemented. In Colombia, few buildings have an energy management system characterized by its adaptability to the user and with a certain degree of intelligence. Thus, this document describes the summarized research process for the development of an Internet of Things (IoT) system, which has been designed to promote an intelligent lighting service in an academic environment. The IoT system orchestrates a series of sensors, monitoring systems and controlled actions, all based on the principle of making the system functions and consumption records available in real-time, via web services. The devices used are "Things" with improved functionality, becoming "Smart Things" within the IoT paradigm. Methodologically, an experimental process was followed, linking the development of electronic tools, the construction of services, and the

¹ Universidad del Cauca (Popayán-Cuaca, Colombia). amarillo@unicauca.edu.co. ORCID: [0000-0002-2910-4239](https://orcid.org/0000-0002-2910-4239)

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). cristianleonardo.cardenas@uptc.edu.co. ORCID: [0000-0002-2375-330X](https://orcid.org/0000-0002-2375-330X)

³ M. Sc. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca (Popayán-Cauca, Colombia). julian.caicedo.m@uniautonomo.edu.co. ORCID: [0000-0002-2357-319X](https://orcid.org/0000-0002-2357-319X)

⁴ Ph. D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). miguel.mendoza@uptc.edu.co. ORCID: [0000-0001-9000-5881](https://orcid.org/0000-0001-9000-5881)

development of interfaces for a pleasant user experience. Research contributes to two essential areas: intelligent buildings, through the intelligent adaptation of an environment; and sustainability and eco-innovation, since the system provides appropriate information for environmental education, in terms of real-time energy consumption, that impacts directly on the fair-use culture of a service expensive for the environment.

Keywords: energy efficiency; Internet of Things; Machine to Machine (M2M); smart buildings; ubiquity.

Smart Lumini: Sistema de luminosidad inteligente basado en IoT para ambientes académicos usando hardware libre

Resumen

El consumo racional de energía eléctrica en grandes construcciones depende tanto de la cultura de consumo de los usuarios como de los sistemas de gestión implementados. En Colombia, pocas edificaciones cuentan con sistemas de gestión energética que se caractericen por adaptarse al usuario y que cuenten con un grado de inteligencia. Por ello, este documento describe el proceso de investigación para el desarrollo de un sistema de Internet de las Cosas (IoT), que ha sido diseñado para promover un servicio de iluminación inteligente en un ambiente académico. El sistema IoT orquesta una serie de sensores, sistemas de monitoreo y acciones controladas, basadas en el principio de hacer disponibles las funciones del sistema y el registro de consumo en tiempo real por medio de servicios web. Los dispositivos utilizados son "Cosas" con funcionalidad mejorada, convirtiéndose en "Cosas Inteligentes" dentro del paradigma de IoT. Metodológicamente, se siguió un proceso experimental, vinculando el desarrollo de instrumentos electrónicos, la construcción de servicios y el desarrollo de interfaces para una experiencia de usuario favorable. La investigación contribuye a dos áreas esenciales: los edificios inteligentes, mediante la adaptación inteligente de un entorno; y la sostenibilidad y la eco innovación, dado que el sistema proporciona información adecuada para la educación ambiental, en términos de consumo de energía en tiempo real, que

repercute directamente en la cultura del uso justo de un servicio costoso para el medio ambiente.

Palabras clave: edificios inteligentes; eficiencia energética; Internet de las Cosas; Máquina a Máquina (M2M); ubicuidad.

Smart Lumini: Sistema de luminosidade inteligente baseado em IoT para ambientes acadêmicos usando hardware livre

Resumo

O consumo racional de energia elétrica em grandes construções depende tanto da cultura de consumo dos usuários como dos sistemas de gestão implementados. Na Colômbia, poucas edificações contam com sistemas de gestão energética que se caracterizem por adaptar-se ao usuário e que contem com um grau de inteligência. Por isso, este documento descreve o processo de pesquisa para o desenvolvimento de um sistema de Internet das Coisas (IoT), que tem sido desenhado para promover um serviço de iluminação inteligente em um ambiente acadêmico. O sistema IoT orquestra uma série de sensores, sistemas de monitoramento e ações controladas, baseadas no princípio de fazer disponíveis as funções do sistema e o registro de consumo em tempo real por meio de serviços web. Os dispositivos utilizados são "Coisas" com funcionalidade melhorada, convertendo-se em "Coisas Inteligentes" dentro do paradigma de IoT. Metodologicamente, seguiu-se um processo experimental, vinculando o desenvolvimento de instrumentos eletrônicos, a construção de serviços e o desenvolvimento de interfaces para uma experiência de usuário favorável. A pesquisa contribui a duas áreas essenciais: os edifícios inteligentes, mediante a adaptação inteligente de um ambiente; e a sustentabilidade e a eco inovação, já que o sistema proporciona informação adequada para a educação ambiental, em termos de consumo de energia em tempo real, que repercute diretamente na cultura do uso justo de um serviço caro para o meio ambiente.

Palavras chave: edifícios inteligentes; eficiência energética; Internet das Coisas; Máquina a Máquina (M2M); ubiquidade.

I. INTRODUCCIÓN

Este documento presenta un sistema inteligente diseñado para controlar la iluminación en lugares interiores, en función del paradigma de Internet de las cosas (IoT), utilizando un laboratorio universitario como caso de estudio. El sistema tiene como objetivo proporcionar un conjunto de dispositivos físicos dispuestos para iluminación con capacidades autónomas e inteligentes. Dichas capacidades representarán un subconjunto de Sistema IoT destinado a llevar a cabo la composición de servicios proporcionados por cosas inteligentes dentro de una determinada ubicación. Los objetos dotados de funcionalidad dentro del sistema son los que se encuentran comúnmente en cualquier aula. La aplicación del sistema podría ser generalizado con patrones universales para ubicaciones diseñados con fines académicos.

Desde la perspectiva de IoT, un aula de clase tiene cosas como bombillas que además de su operación convencional se enriquece con capacidades especiales para contribuir al sistema Smart Lumini. El sistema es capaz de ajustar la cantidad de iluminación proporcionado a un espacio y, por lo tanto, la cantidad de energía eléctrica consumida, que tiende a ser inteligentes las cosas. El subsistema de iluminación está compuesto por i) sensores de presencia en las sillas del aula, con el propósito de determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para cada lugar (cosa inteligente: silla), transferible a la bombilla (cosa inteligente: bombilla); ii) sensor de fotocelda para determinar la intensidad de la luz del entorno junto con un sistema de monitoreo, se cuantifica la cantidad de energía necesaria para lograr una adecuada y eficiente iluminación del espacio; y finalmente, iii) el sistema es gestionado desde una interfaz que muestra un menú con opciones para intervenir en todo el rango de iluminación de acuerdo con las necesidades del usuario.

Adicionalmente, para dar personalización al sistema Smart Lumini, a partir del análisis del sistema fueron definidas las opciones de operación como: 1) Modo de presentación (cuando el lugar se usará para presentaciones con un proyector de video), 2) Modo de fotocelda (este modo actúa con una compensación a la iluminación natural, dependiendo de las condiciones ambientales), 3) Detección de modo personas (calcula la cantidad de iluminación necesaria, de acuerdo a la

cantidad y distribución de personas en el lugar) y finalmente, 4) Variación del rango manual del modo de iluminación, en todo el lugar.

Las variables medidas y controladas por el sistema obedecen a la relación de las personas con el uso eficiente de la energía eléctrica. Así es como la cantidad de personas en un espacio cerrado influyen en la cantidad de energía eléctrica necesaria para garantizar un razonable gasto (de "computación verde": la racionalización del principio de consumo). La luz natural del exterior que influye en el espacio cerrado determina la cantidad de energía eléctrica necesaria para asegurar una iluminación adecuada, por lo que la conciencia del uso racional y los requisitos del usuario harán posible un sistema de intervención de diferentes maneras, como en manual o modo automático, para modificar la cantidad de energía que alimentará el sistema, opciones dirigidas a la pedagogía tecnológica que tiende a generar una cultura ambiental de ahorro y gasto inteligente de energía eléctrica.

Para garantizar el seguimiento de la tasa de consumo, ahorro y modo de uso del sistema, este cuenta con un Módulo de interfaz de usuario que permite acceder al sistema de datos en tiempo real. La medición de variables involucradas está contenida en una base de datos, que posteriormente serán objeto de cálculos matemáticos para obtener la energía consumida en Kw/h.

El proyecto de investigación promueve trabajos futuros enfocados sobre la orquestación de servicios y tecnologías desarrollados para el mismo estudio de caso, para complementar el carácter inteligente de varios elementos mejorados, como 1) grabación y seguimiento del profesor sistema; 2) puerta inteligente; 3) gabinetes inteligentes; y 4) ventilación inteligente. Estas cosas juntas forman un aula inteligente como un sistema holístico de IoT.

La innovación tecnológica tiene mayor implementación cuando su aplicación está directamente vinculada a la vida cotidiana del usuario. El uso eficiente de la energía eléctrica en Europa revela la demanda de edificios con tecnología inteligente para registrar el consumo de electricidad casi a nivel cero, con prioridad en la construcción de EPBD (rendimiento energético europeo de edificios Directiva) oficinas comerciales y universidades [1].

En estudios comparativos realizados se utilizan modelos matemáticos para determinar el uso eficiente de la energía eléctrica entre edificios convencionales y edificios inteligentes [2]. Como resultado de lo anterior, el IoT se impone como un paradigma que reduce la brecha entre la comprensión de la técnica de conectar cosas a internet y la posibilidad de desarrollar entornos inteligentes [3, 4]. De esta manera, las cosas se han convertido en objetos funcionales en entornos tecnológicamente adaptados con infraestructura basada en hardware y software, para rastrear el objeto o sistema en tiempo real con un dominio en la nube [5, 6]. En Grecia, [7] la sostenibilidad ambiental en los edificios públicos dedicados a la educación son una tecnología de referencia disponible universalmente, haciendo uso de tecnologías con código abierto. En el diseño de entornos inteligentes, los dominios son propuestos para la representación de la inteligencia ambiental [8]; estos elementos aseguran el entorno inteligente y la gestión del recurso objeto de control tecnológico [9].

El seguimiento y control del consumo de energía, (en elementos de consumo directo, bombillas LED IoT) [10], se ha convertido en un factor influyente en la eficiencia de la industria, producción y fabricación. En áreas del desarrollo humano como la agricultura, la movilidad, la industria, M2M (máquina a máquina), telemedicina, biomedicina, edificios inteligentes, etc. [11].

El Internet de las cosas proyecta ciudades inteligentes, microambientes inteligentes en los que millones de usuarios puede caber bien [12, 13]. Una tecnología capaz de garantizar la inmediatez y la universalidad en el monitoreo de recursos [14].

La intervención tecnológica de los edificios, constituye un avance para reducir el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero [15]. Por ejemplo, en el caso de un estudio predictivo sobre el consumo de electricidad relacionado en [16] que vincula diecinueve ciudades en los EE. UU. y 763 edificios, utilizando variables como sector de ubicación o estrato socioeconómico. En Italia, la evaluación del rendimiento energético de los edificios se realiza mediante un cálculo simplificado, un software semi estacionario y dinámico que aplica para medir el consumo de energía [17].

Las políticas energéticas de la Unión Europea (UE) determinan un concepto para las técnicas del iluminado de interiores. Algunos trabajos estudian la luminosidad que una bombilla proporciona a los interiores en términos del tiempo de duración por unidad de área [18]. La inteligencia artificial utiliza datos históricos para predecir y resolver el consumo de energía eléctrica óptimamente en múltiples edificios, basados en regresiones lineales múltiples, redes neuronales artificiales y las máquinas de soporte vectorial o métodos de predicción [19].

Los campos bajo revisión permitieron desarrollar conceptos y mejorar las iniciativas tecnológicas en torno el desarrollo de software, hardware e implementación de plataformas de desarrollo libre [20], [21].

Este documento contiene una revisión del estado del arte, una descripción general del sistema desde la perspectiva de IoT, su funcionalidad, diseño tecnológico, relación de variables y los elementos que componen el sistema. Finalmente se evalúa el sistema.

II. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto tiene por objeto influir en el uso eficiente de la energía eléctrica en los espacios dedicados a la academia, en este caso, un aula. El objeto inteligente en el que se centra el sistema es una bombilla, potenciada con un sensor de la intensidad de la luminosidad del sector en el que influye su emisión. El siguiente objeto determinante del sistema es la silla de cada mesa de trabajo. Teniendo en cuenta que cada espacio de trabajo del laboratorio en el caso de estudio, el escritorio tiene entre dos y cuatro sillas respectivamente, cada una de ellas tiene un sensor de presencia personal que informará al sistema sobre el número de personas que deben ser iluminadas, para garantizar un servicio adecuado en la zona.

La técnica utilizada para modificar la cantidad de energía eléctrica suministrada a la lámpara es la Modulación por Ancho de Pulso (PWM), que determinará la cantidad de iluminación de cada sector; esta es una variable que depende del número de personas presentes en cada escritorio y del establecimiento de un valor mínimo programado por el usuario.

Dado que el sistema tiene cuatro funciones de uso, a continuación, se describirán los subsistemas que conforman el control inteligente de la iluminación.

En primer lugar, se ha desarrollado un sistema de relaciones lógicas entre sensores y actuadores. El sensor de fotocélulas evalúa las condiciones de luz que influyen en el entorno exterior. El aula-laboratorio tomado como caso de estudio tiene dos accesos o fuentes de luz natural: la ventana y la puerta de acceso. Estas dos fuentes de luz son medidas para determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para alimentar el sistema, una acción determinada por el actuador de la lámpara. El aula fue modelada a tamaño real, considerando la distribución auténtica del mobiliario y su disposición física, como se muestra en la Figura 1.



Fig.1. Escenario de implementación (aula).

En segundo lugar, Se desarrolló una red de sensores instalados en las sillas del aula, todos relacionados entre sí. La topología de la red es una malla con distribución centralizada. La red de comunicación utiliza el módulo ESP8266 de forma nativa mediante el esquema de direccionamiento IPv4 que permite a la interconexión enviar y recibir información sobre el estado de sus variables. El problema a superar en este aspecto es el enrutamiento y la conexión permanente del sensor con la plataforma MEGA a través del protocolo Wi-Fi. El problema se resolvió asegurando la actualización permanente de maestro-esclavo entre la MEGA y cada sensor.

Es decir, el ancho de pulso programado por el usuario en el sistema, puede ser la energía mínima o máxima necesaria para asegurar la iluminación de la lámpara para una persona en el área del aula de 200m². Esta energía es necesaria para

asegurar la iluminación de las 8 lámparas para 25 personas en 25 sillas (capacidad máxima de usuarios en el espacio). Este es el criterio de la relación entre los sensores de la presencia de personas en el aula y la cantidad de ancho de pulso programado.

En tercer lugar, la capacidad de la plataforma MEGA de Arduino (plataforma de hardware libre utilizada) es suficiente para garantizar hasta el último detalle la relación lógica y algorítmica de las variables medidas y las acciones ejecutadas por los actuadores. Por consiguiente, el diseño del software y la instrumentación electrónica se centran en la escalabilidad del sistema.

En cuarto lugar, dado que es esencial poder acceder o intervenir en el sistema, o en el código, para adaptar o modificar los parámetros, la plataforma de interfaz del usuario permite la ejecución de los dos modos posibles de intervención del usuario. La primera opción de intervención se centra en la información, como el consumo de electricidad, la forma en que se utiliza el sistema y el número de personas que utilizan el espacio. La segunda opción es la modificación del punto de referencia o la cantidad mínima de energía eléctrica que facilita una iluminación según la preferencia del usuario.

En general, la funcionalidad del sistema está diseñada en primer lugar para generar un impacto ambiental positivo, en segundo lugar, para generar un impacto en el comportamiento y la cultura de consumo de electricidad de los usuarios en los espacios académicos, y en tercer lugar, para proporcionar un grado de inteligencia y autonomía tecnológica a los espacios, asegurando las posibilidades de respeto al medio ambiente, relaciones vitales orientadas al uso eficiente de la energía eléctrica.

El sistema diseñado dentro del paradigma IOT adapta características en el manejo de recursos técnicos y tecnológicos que, relacionados y en red, proveen información y por lo tanto actúan de acuerdo con estado de las variables sujetas a control, en un ambiente dotado de inteligencia y propósitos universales de acceso a Internet para el control y monitoreo de un espacio utilizado por un grupo de personas.

A. Diseño IoT

El sistema de control de la iluminación basado en la IOT adopta la bombilla como un objeto inteligente. Se caracteriza con dispositivos que están vinculados mediante un microcontrolador Arduino MEGA y garantiza la cantidad de energía eléctrica suministrada a la bombilla, de modo que ésta a su vez garantiza la luminosidad del espacio, con un elemento de control, supervisión y acceso al sistema a través de Internet. Los objetos y sensores que se orquestan en el sistema de control inteligente de la luz, llamado Smart Lumini, se ilustran en el diagrama de bloques de la Figura 2.

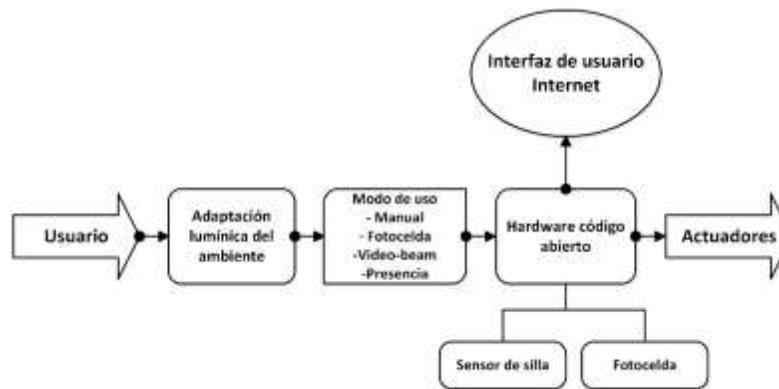


Fig. 2. Diagrama de bloques del diseño del IoT Smart Lumini

En el entorno controlado, la silla adopta la función de generar la señal o variable, específicamente la presencia o ausencia de personas. Estos datos se transmiten al procesador del sistema, el microcontrolador Arduino MEGA, utilizando el dispositivo de conexión a Internet ESP8266. Estos elementos son la base de la plataforma de interfaz.

El circuito eléctrico comprende dos etapas: i) la etapa de potencia y ii) la etapa digital. La etapa digital contiene el hardware para intervenir en las variables y subsistemas que forman parte del sistema de iluminación inteligente.

La etapa de potencia describe el conjunto que presenta un desacoplamiento de las energías eléctricas CA (corriente alterna) y CC (corriente continua). Esta configuración asegura que la cantidad de energía eléctrica suministrada a cada bombilla se varíe mediante un corte de fase monofásico.

La ubicación, funcionalidad y orquestación de los sensores y actuadores, están enfocados al usuario, por lo que la distribución del sistema es estratégica, asegurando el enfoque del servicio al profesor, a los estudiantes y al medio ambiente. Por esta razón, el sistema requiere una interfaz que permita un acceso directo. La Tabla 1 muestra la relación del ancho de pulso asignada según el número de personas presentes en el aula.

Tabla 1. Relación entre el ancho de pulso y cantidad de personas.

Fila	Personas	PWM%
1	0	PWM Min
2	1	PWM 50%
3	2	PWM 60%
4	3	PWM 75%
5	4	PWM 90%

La aplicación desplegada tiene las características establecidas por el sistema. Esta distribución permite al equipo de investigación manejar un concepto espacial de distribución del sistema de energía, que garantiza la división simétrica del ancho de pulso necesario para cada lámpara, además de emular la infraestructura real del laboratorio utilizado en el caso de estudio.

El sistema de control inteligente de la iluminación basa su concepto en la arquitectura de la Figura 3, en el que se analizan sus capas estructurales, para determinar factores críticos como el funcionamiento orquestado entre los sensores, los actuadores y la conexión a Internet, un conjunto que garantiza un entorno inteligente conectado a Internet. El contexto, el estado del objeto, la ubicación y la identidad regulan el esquema tecnológico en el marco de IOT.

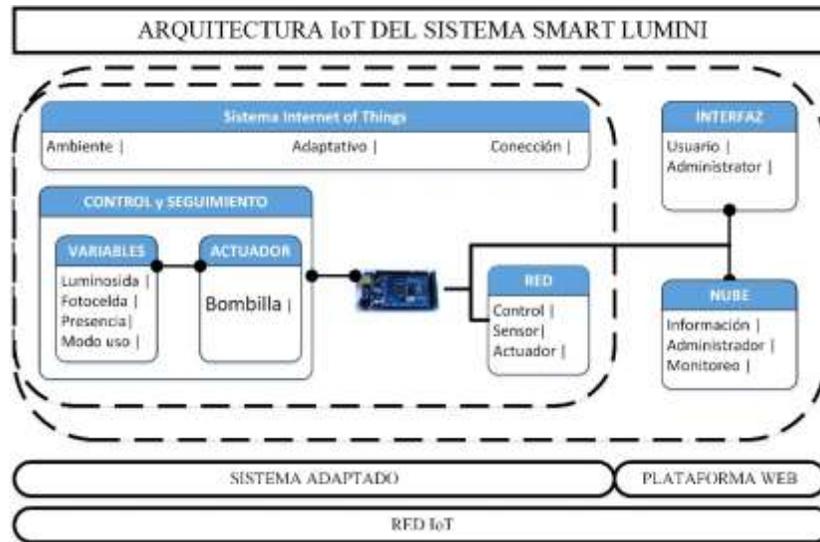


Fig.3. Arquitectura del sistema IoT basado en capas de estructura IoT.

Identidad: el objeto inteligente se identifica con la dirección IP del módulo conectado a la red (ESP8266) instalado en los objetos inteligentes, lámparas y sillas.

Ubicación: el sistema se encuentra en el edificio de la RA en el campus de la Universidad UPTC, Aula 305, sede de Tunja, Colombia.

Estado: las variables a medir en el sistema son la intensidad de la luz, la presencia o ausencia de personas y la cantidad de luz ambiental incidente en el aula.

Contexto: el juego de bombillas está relacionado con objetos inteligentes como sillas, fotocélulas y la luminosidad ambiental que proviene de fuentes externas al salón de clases.

III. RESULTADOS

El sistema de control de la luminosidad es automático y constante en la supervisión y gestión de la energía eléctrica en el laboratorio. Siempre determina la presencia o ausencia de personas. El diagrama de flujo que se muestra en la figura 4, presenta el flujo de trabajo para el caso en que las variables de entrada sufren cambios según la función del sistema. La ecuación (1) da la expresión que rige el comportamiento del algoritmo responsable de la distribución de la energía eléctrica en el sistema.

$$Q_E = \sum_{i=0}^4 \frac{(i*a)-n}{k} \quad (1)$$

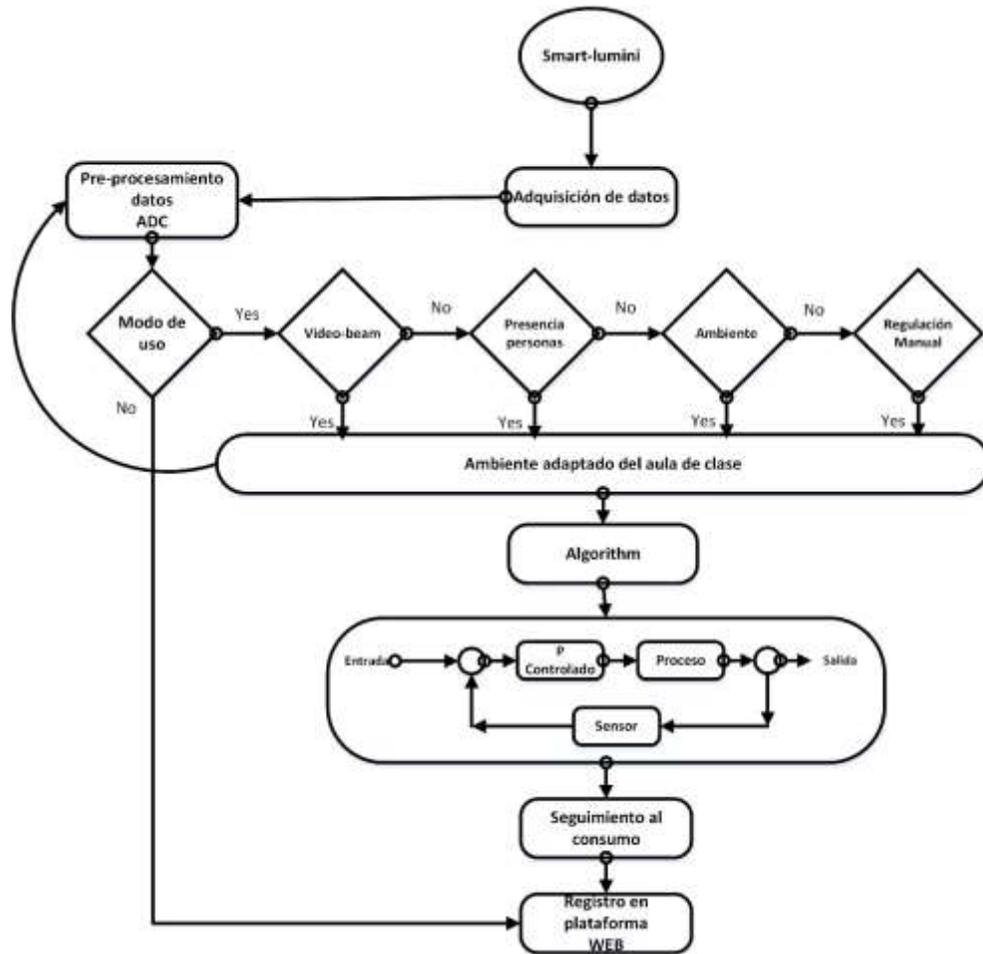


Fig. 4. Diagrama de flujo del sistema Smart-Lumini.

El bloque de algoritmos del diagrama de bloques ejecuta el código que utiliza la fórmula para contar personas y dirige la orden al actuador correspondiente del sector en el que se produjo la modificación o solicitud de energía.

El bloque Algoritmo puede identificar cuál es la posición de la solicitud en el aula y orientar las órdenes de control a los actuadores. Por medio del enrutamiento, el sistema asocia el controlador correspondiente con las etapas de potencia de cada bombilla. Todos los controladores son de la misma naturaleza: sólo se supervisan y controlan los cambios en el número de posiciones (sillas).

La ecuación (1) indica la cantidad de energía distribuida en las zonas de trabajo, determinada por i , que es el número de personas en las estaciones de trabajo; su máximo será 4. La letra a indica el porcentaje de iluminación correspondiente al número de personas por zona, y se resta n , la luminosidad del entorno exterior que

influye en el sistema adaptado. Por último, la letra k indica el total del rango de iluminación en el que está programado actualmente el aula. Este parámetro de iluminación k está sujeto a una constante modificación por parte de los usuarios del sistema, el profesor o los estudiantes, según las necesidades.

El bloque de seguimiento, al ejecutar el controlador proporcional de cada actuador (Bombilla), almacena los registros de consumo y muestra los datos en la interfaz de usuario.

La inteligencia proporcionó al aula una funcionalidad de acuerdo con los cálculos de espacio y energía necesarios para que la academia funcione. A continuación, se describen los cuatro modos de uso establecidos, las dos funciones y sus características.

1. Modo vídeo-beam: este modo de uso establece bajos niveles de iluminación en todas las lámparas, el profesor tiene la opción de acceder, a través de la plataforma, para modificar el término de energización de las lámparas con la variación de la anchura del pulso que suministra la energía eléctrica al sistema.

2. Modo de presencia y ausencia de personas: la intensidad de la luz varía en función del número de personas que ocupan el aula en las mesas de trabajo. Este control de la luminosidad por el número de personas funciona a partir de sensores infrarrojos instalados en las sillas, para garantizar el estado lógico necesario para el control de la iluminación del lugar.

3. Modo ambiente: la luminosidad del aula está influenciada por la luz ambiente procedente del exterior del aula, gracias al sensor fotoeléctrico (fotocelda), que es sensible a los cambios de la intensidad de la luz ambiente. Este modo ajusta automáticamente el sistema para determinar su estado de consumo.

4. Modo de cambio de regulación o referencia: la iluminación de base que el sistema suministra al aula podría ser considerada insuficiente por los alumnos o profesores, por lo que es posible acceder al sistema, mediante el nombre de usuario y la contraseña indicados, para modificar esa referencia a un nivel personalizado.

Este sistema cuenta con una interfaz de usuario (página web), desarrollada para controlar la iluminación del aula y para seguir la cantidad de energía consumida por las lámparas. También determina cuánta energía se está utilizando en cada uno de

los modos de funcionamiento en tiempo real. Esta información sobre el consumo de electricidad se almacena en una base de datos, para llevar un registro histórico del consumo de electricidad.

A. Diseño electrónico y tecnológico

La implementación del sistema presenta técnicas de instrumentación para asegurar la recolección de datos y la medición de variables por parte de sensores y objetos inteligentes. La instrumentación de los dispositivos se diseña de acuerdo con la naturaleza de las señales emitidas por los sensores o los objetos inteligentes orquestados en el sistema como en [22], las señales procesadas en el sistema son de tipo analógico (fotoceldas) y de tipo digital (las sillas). El cálculo de la luminosidad del espacio se hizo a través de la cantidad de lúmenes proporcionados por cada lámpara LED y su relación con el tamaño del espacio en m².

B. Descripción del desarrollo web

El diseño y desarrollo del sitio web se realiza con la técnica de (backend y frontend), estos fueron adaptados para realizar las acciones de control y cambio de parámetros de usuario del sistema, o viceversa.

Backend: este es el trabajo del servidor, implica la creación de una base de datos MySQL (software de base de datos de código abierto), un lenguaje de programación JavaScript bajo Node.js, operado con un gestor de paquetes npm para conectarse a la base de datos. Desde los sockets, para asegurar el funcionamiento del sistema en tiempo real. Este conjunto permite el desarrollo de un algoritmo para monitorear y supervisar el consumo de energía eléctrica, almacenando la información en la base de datos con transacción en la nube.

Frontend: esta parte de la plataforma es la responsable del diseño que se muestra al usuario (en este caso, el administrador) como producto final. El desarrollo de la estructura está compuesto por HTML5 (Hypertext Markup Language), que hace referencia al lenguaje demarcado para el desarrollo de la página, CSS3 (Cascading Style Sheets), donde se modifican los estilos de la página web cambiando los parámetros de diseño y haciendo la página visualmente más agradable para el

usuario. Se complementa con Javascript para añadir la experiencia e interacción con el usuario.

El producto final de la interfaz se diseñó haciendo hincapié en la usabilidad y la presentación. La página central de seguimiento se muestra en la Figura 5, donde se muestra un menú con la información del sistema.

El inicio de sesión de la plataforma para el usuario requiere, para su validación por parte del administrador, un nombre de usuario y una contraseña que es validada desde la base de datos, proporcionando al sistema un nivel de seguridad, para tener un acceso único de usuario.



Fig. 5. Plataforma principal de la aplicación.

La página principal de la aplicación presenta el diagrama de la distribución del aula (vista superior) e información sobre el estado de la funcionalidad; el total de energía consumida, la cantidad de personas en el aula, y el consumo total de cada una de las bombillas. Al mismo tiempo, alimenta la base de datos que está oculta al usuario.

IV. DISCUSIÓN

El comportamiento del Smart Lumini System (SLS) implementado en el aula permitió evaluar y analizar el consumo de energía. Estas mediciones, registradas y almacenadas en la base de datos de la aplicación, pueden ser graficadas para analizarlas. La Tabla 2 muestra los datos primarios para interpretar el análisis. La

medida del consumo de energía es en Kw/h por mes, los costos varían según el número de bombillas utilizadas y el tiempo de uso.

Tabla 2. Consumo de energía del aula sin SLS.

Bombillas	Potencia (Watts)	Uso Hora/Día	Consumo KW/h por Mes	Kw/h Precio (€)
1	7	15	3.255	0.17
8	56	15	26.04	4.426

La Tabla 3 muestra los datos medidos con el sistema Smart Lumini implementado en el aula. Estos datos, al igual que la tabla anterior, presentan los costes económicos en euros. A partir de estos datos, se puede ver el dinero ahorrado con la implementación del SLS. Sin embargo, para mayor claridad, la Tabla 4 muestra un ejemplo más detallado del consumo de energía en un día normal. Estos datos contienen el PWM% utilizado por las bombillas, el modo de uso de SLS, el número de usuarios de SLS, y el número de bombillas involucradas en la iluminación de la habitación.

Tabla 3. Consumo de energía del aula con implementación de SLS

Bombillas	Potencia (Watts)	Uso Hora/Día	Consumo KW/h por Mes	Kw/h Precio (€)
1	7	10	1.68	0.17
8	56	10	13.44	4.486

Como se puede ver en la Tabla 4, las variables relacionadas con las bombillas involucradas en el SLS, como el %PWM, el sistema modo de uso, y la cantidad de personas presentes, hacen que las bombillas lideran la orquestación y la coreografía en el ecosistema de IoT. Por esta razón, gracias a esta característica, se puede afirmar que el sistema propuesto es adaptativo.

Tabla 4. Información del consumo de energía en el aula.

Hora	Personas	QBombilla	(Kw/h)/Mes	Uso-Modo-SLS	%PWM-Uso
07:00	22	6	0.42	3	75
08:00	22	6	0.42	3	75
09:00	10	4	0.28	1	50
10:00	10	4	0.28	1	50
11:00	0	0	0	2	0
12:00	0	0	0	2	0
13:00	0	0	0	2	0

Hora	Personas	QBombilla	(Kw/h)/Mes	Uso-Modo-SLS	%PWM-Uso
14:00	16	5	0.336	2	60
15:00	16	5	0.336	2	60
16:00	25	7	0.504	4	90
17:00	25	7	0.504	4	90
18:00	8	4	0.28	1	50
19:00	8	4	0.28	1	50
20:00	0	0	0	2	0
21:00	0	0	0	2	0
22:00	0	0	0	2	0

La Tabla 4 presenta algunos datos relativos en un día de operación de SLS. A continuación, en las Figuras 6 y 7, se representa el comportamiento del aula gráficamente con SLS. En la Figura 6, se ve que la cantidad de personas determina el consumo de energía aparte del rendimiento del modo de uso SLS, un hecho que permite configurar el sistema adaptativo para garantizar un brillo inteligente.

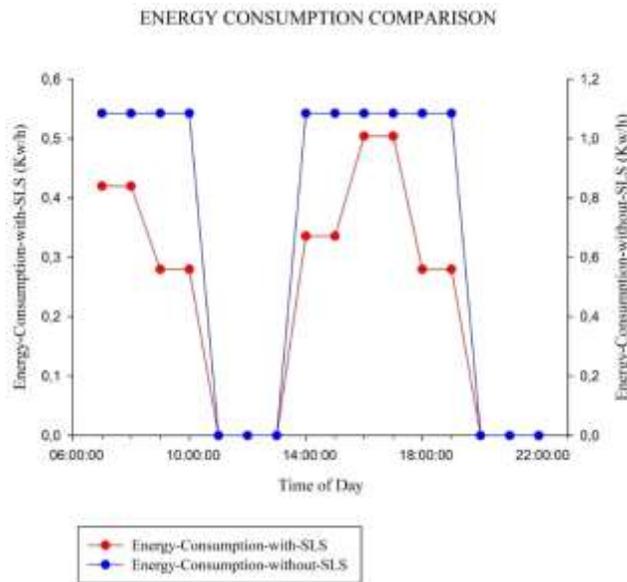


Fig.6. Comportamiento del sistema Smart Lumini implementado.

La figura 7 muestra la diferencia entre el consumo de energía en el aula con y sin implementación de SLS. Este gráfico expone que el ecosistema IoT se adaptó a los usuarios, reduce gastos, actúa de acuerdo con las necesidades del usuario, y mitiga aún más el impacto del medio ambiente. Por esta razón, un sistema como este, por su bajo costo, abierto (hardware libre) y fácil implementación, puede ser una excelente opción para ahorrar energía.

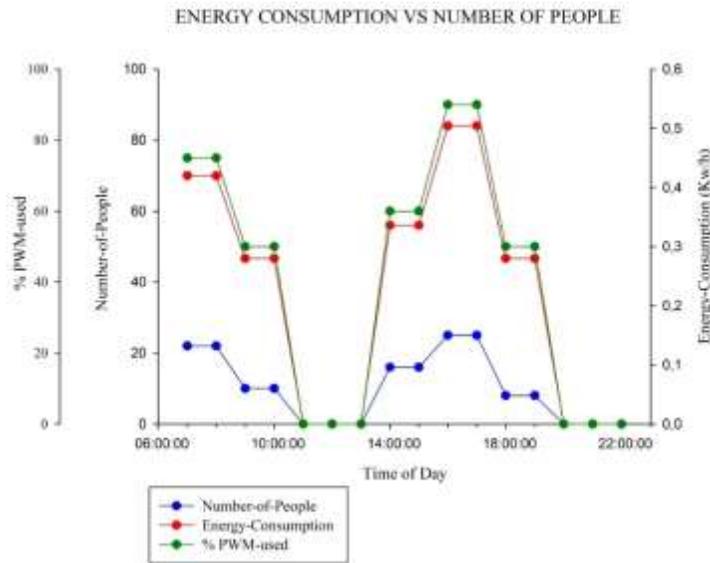


Fig.7. Comparación del consumo de energía en el aula.

El sistema permite ahorrar más del 60% del consumo de energía, tal como se evidencia en la Figura 7. Los residuos energéticos del mal uso en instalaciones académicas (universidades) es muy alta, pero esta propuesta puede ayudar a gestionar la energía.

V. CONCLUSIONES

El Sistema Smart Lumini implementado en el aula demostró un alto rendimiento en la adaptación a las necesidades del usuario según las variables externas que influyen en la iluminación del aula. Los resultados cuantitativos evidencian la cantidad de energía eléctrica ahorrada y lo que se traduce en un costo económico. Los controladores diseñados mostraron una alta eficiencia, y el sistema IOT, en general, registró un excelente rendimiento en términos de estabilidad y fiabilidad. En kw/h por mes, el sistema puede ahorrar más del 60% de energía sobre el consumo habitual.

El desafío impuesto por las construcciones modernas es posible, y es plausible una modificación de tipo estructural, donde el principio del uso eficiente de la energía eléctrica es un parámetro prioritario en el diseño. Por esta razón, y debido a las

condiciones actuales del entorno académico, se puso énfasis en el desarrollo y la capacidad tecnológica adecuada a esos espacios.

Algunos estudios realizados en edificios dedicados al servicio académico muestran que el exceso de consumo eléctrico se encuentra en horas no laborables, debido a factores de distinta naturaleza. Por lo tanto, el sistema de iluminación inteligente mitiga el uso indebido de dispositivos específicos y apoya la administración de los espacios en lo que respecta a la energía.

La IOT se impone como un paradigma que reduce la brecha entre la comprensión de la técnica de conexión de las cosas a Internet y la posibilidad de desarrollar entornos inteligentes. Las cosas se convierten así en objetos funcionales que participan en entornos adaptados tecnológicamente con una infraestructura basada en hardware y software.

Un aula inteligente como la diseñada en este proyecto explora alternativas de gestión tecnológica y técnica que mitigan el desperdicio y eliminan el estigma culturalmente construido en torno a una infraestructura arquitectónica inviable. Este desarrollo es fácil de adaptar a cualquier sistema eléctrico gracias a los recursos que proporciona el área de la electrónica.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

González-Amarillo, Cárdenas-García, Caicedo-Muñoz y Mendoza-Moreno propusieron el concepto de esta investigación. Mendoza-Moreno y Caicedo-Muñoz contribuyeron al estado del arte y a las revisiones del borrador final del documento. González-Amarillo, Cárdenas-García, Caicedo-Muñoz y Mendoza-Moreno escribieron el artículo.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación está financiada por la beca de doctorado Colciencias 779-2017 para el doctorado en Ingeniería Telemática de la Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. Además, los autores expresan su agradecimiento a Colciencias por el convenio UPTC-COLCIENCIAS No 80740-230-2019 "Jóvenes Investigadores e Innovadores (Virginia Gutiérrez de Pineda)".

REFERENCIAS

- [1] S. Mehreen, and S. Patidar, "Understanding the energy consumption and occupancy of a multi-purpose academic building," *Energy and Buildings*, vol. 87, pp. 155-165, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.027>
- [2] P. Rocha, A. Siddiqui, and M. Stadler, "Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures," *Energy and Buildings*, vol. 88, pp. 203-213, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.077>
- [3] W. Cui, Y. Kim, and T. S. Rosing, "Cross-platform machine learning characterization for task allocation in iot ecosystems," in *IEEE 7th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, pp. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.1109/CCWC.2017.7868438>
- [4] G. R. González, M. M. Organero, and C. D. Kloos, "Early infrastructure of an internet of things in spaces for learning," in *Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 381-383, 2008. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2008.210>
- [5] B. L. Risteska, and K. V. Trivodaliev, "A review of internet of things for smart home: Challenges and solutions," *Journal of Cleaner Production*, vol. 140, pp. 1454-1464, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>
- [6] G. Ramírez-Gonzalez, C. Córdoba-Paladinez, O. Sotelo-Torres, C. Palacios, M. Muñoz-Organero, and C. Delgado-Kloos, "Pervasive learning activities for the lms.lrn through android mobile devices with NFC support," in *IEEE 12th International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 672-673, 2012. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2012.213>
- [7] L. Pocero, D. Amaxilatis, G. Mylonas, and I. Chatzigiannakis, "Open source IoT meter devices for smart and energy-efficient school buildings," *HardwareX*, vol. 1, pp. 54-55, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2017.02.002>
- [8] G. Ramírez, M. Muñoz, and C. Delgado, "Exploring touching learning environments," in M. Kendall, and B. Samways, eds., *Learning to Live in the Knowledge Society*, pp. 93-96, United States, Boston: Springer, 2008. https://doi.org/10.1007/978-0-387-09729-9_12
- [9] D. Bonino, and F. Corno, "Domains: Domain-based modeling for ambient intelligence," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 8 (4), pp. 614-628, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2011.10.009>
- [10] A. Szalai, T. Szabo, P. Horváth, A. Timár, and A. Poppe, "Smart SSL: Application of IoT/CPS design platforms in ledbased street-lighting luminaires," in *IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries*, pp. 1-6, 2016. <https://doi.org/10.1109/LUMENV.2016.7745518>
- [11] Y. S. Tan, Y. T. Ng, and J. S. Choong, "Internet-of-things enabled real-time monitoring of energy efficiency on manufacturing shop floors," *Procedia CIRP*, vol. 61, pp. 376-381, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.242>
- [12] J. Malek, M. Laroussi, and H. Ben Ghezala, "A design framework for smart city learning scenarios," in *9th International Conference on Intelligent Environments*, pp. 9-15, 2013. <https://doi.org/10.1109/IE.2013.34>
- [13] D. Gracanin, M. Handosa, H. G. Elmongui, and K. Matković, "An approach to user interactions with IoT-enabled spaces," in *14th International Conference on Telecommunications*, pp. 139-146, 2017. <https://doi.org/10.23919/ConTEL.2017.8000050>

- [14] I. Khajenasiri, A. Estebasari, M. Verhelst, and G. Gielen, "A review on internet of things solutions for intelligent energy control in buildings for smart city applications," *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 770-779, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.239>
- [15] J. W. P. Ng, N. Azarmi, M. Leida, F. Saffre, A. Afzal, and P. D. Yoo, "The intelligent campus (icampus): End-to-end learning lifecycle of a knowledge ecosystem," in *Sixth International Conference on Intelligent Environments*, pp. 332-337, 2010. <https://doi.org/10.1109/IE.2010.68>
- [16] C. E. Kontokosta, "Modeling the energy retrofit decision in commercial office buildings," *Energy and Buildings*, vol. 131, pp. 1-20, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.08.062>
- [17] R. De Lieto, C. Guattari, L. Evangelisti, G. Battista, E. Carnielo, and P. Gori, "Building energy performance analysis: A case study," *Energy and Buildings*, vol. 87, pp. 87-94, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.080>
- [18] F. G. Montoya, A. Peña-García, A. Juaidi, and F. Manzano-Agugliaro, "Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving," *Energy and Buildings*, vol. 140, pp. 50-60, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.028>
- [19] Z. Wang, and R. S. Srinivasan, "A review of artificial intelligence-based building energy use prediction: Contrasting the capabilities of single and ensemble prediction models," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 796-808, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.079>
- [20] R. Madeira, and L. Nunes, "A machine learning approach for indirect human presence detection using IoT devices," in *Eleventh International Conference on Digital Information Management*, pp. 145-150, 2016. <https://doi.org/10.1109/ICDIM.2016.7829781>
- [21] C. Gonzalez-Amarillo, C. Cárdenas-García, and M. Mendoza-Moreno, "M2M system for efficient water consumption in sanitary services, based on intelligent environment," *DYNA*, vol. 85, pp. 311-318, 2018. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.68264>
- [22] C. A. González-Amarillo, J. C. Corrales-Muñoz, M. Mendoza-Moreno, A. M. González Amarillo, A. F. Hussein, N. Arunkumar, and G. Ramírez-Gonzalez, "An IoT-based traceability system for greenhouse seedling crops," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67528-67535, 2018. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2877293>