



LiFi y su integración con la internet de las cosas

LiFi and its integration with the internet of the things

Miguel Ángel Leguizamón Páez¹ Jair Rojas Pineda² Edna Catherim Rodríguez Sánchez³

Para citar este artículo: M. A. Leguizamón-Páez; J. Rojas-Pineda; E. C. Rodríguez-Sánchez, "Luz visible y su integración con la internet de las cosas". *Revista Vínculos: Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol 16, n° 1, enero-junio 2019, 42-56. DOI: <https://doi.org/10.14483/2322939X.15281>.

Recibido: 03-06-2019 / Aprobado: 28-06-2019

Resumen

En el documento, se lleva a cabo una revisión de la literatura sobre la comunicación por medio de la luz visible conocida como Light Fidelity (LiFi, por sus siglas en inglés) y el internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). Para lo anterior, se usa una metodología cualitativa de tipo descriptivo, con el fin identificar el funcionamiento de la tecnología LiFi; las ventajas y desventajas que presenta frente a otras tecnologías existentes; y los principios de funcionamiento y oportunidades de la integración de la internet de las cosas con LiFi como uno de los pilares de desarrollo para las ciudades inteligentes. Las conclusiones de la revisión apuntan a que la integración de bombillas LED (Diodo Emisor de Luz) con tecnología LiFi a redes IoT y servicios en la nube, permitirá el fortalecimiento de la iluminación LED conectada donde se aportan nuevos conocimientos y se puede considerar la iluminación como un servicio.

Palabras clave: ciudades inteligentes, Internet de las cosas, LED, luz visible, revolución 4.0.

Abstract

In the document, a review of the literature on communication through visible light known as Light Fidelity (LiFi) and the Internet of Things (IoT) is carried out. For the above, a qualitative methodology of descriptive type is used, in order to identify the operation of LiFi technology; the advantages and disadvantages that it presents compared to other existing technologies; and the principles of operation and opportunities for the integration of the internet of things with LiFi as one of the pillars of development for smart cities. The conclusions of the review suggest that the integration of LED bulbs (Light Emitting Diode) with LiFi technology to IoT networks and cloud services, will allow the strengthening of connected LED lighting where new knowledge is provided and lighting can be considered as a service.

Keywords: SmartCities, IoT, LED, LiFi, revolution 4.0.

1. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Bogotá. Afiliación institucional: Docente de Planta Universidad Distrital Francisco José de Calda, Colombia, Bogotá. Correo electrónico: mianlepa@gmail.com, maleguizamop@correo.udistrital.edu.co ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0457-0126>
2. Tecnólogo en Sistematización de Datos, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Bogotá. Afiliación institucional: Analista de software en Grupo ASD S.A.S., Colombia. Correo electrónico: jrojp@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5428-350X>
3. Tecnóloga en Sistematización de Datos, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia, Bogotá. Afiliación institucional: Analista de pruebas en SQASA. Correo electrónico: rodcated@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2382-0055>

1. Introducción

La tecnología de la luz visible o Light Fidelity (LiFi, por sus siglas en inglés) es un tipo de conexión inalámbrica que utiliza fuentes de luz en lugar de microondas para transmitir datos, parte de la tecnología de comunicación inalámbrica óptica a través de la luz LED, por lo que se prevé podría llegar a los 224 Gbps de velocidad [1]. Aunque esta conexión no se encuentra altamente difundida comercialmente, todas las ventajas que ofrece permitirán una convergencia con varias tecnologías disponibles, entre ellas la internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), la cual ha implicado generar grandes bases de información que impulsan cambios en las sociedades en aspectos como: comunicación, transporte y energía.

Al hacer un recorrido de algunos acontecimientos tecnológicos trascendentes, se tiene que a finales del siglo XVII la máquina de vapor jugó un rol fundamental en la primera revolución industrial. En la primera década del siglo XX el motor de combustión interna alimentado por combustibles fósiles derivados del petróleo y la energía eléctrica consolidaron la era de la producción masiva de bienes manufacturados dando lugar a la segunda revolución industrial. A mediados del siglo XX la tecnología de la comunicación, de la internet y las energías renovables dieron origen a la revolución científico-tecnológica o tercera revolución industrial. En la actualidad es la internet de las cosas la que juega un rol fundamental en la cuarta revolución industrial o revolución 4.0, la cual ya se ha iniciado debido a la velocidad, el alcance y el impacto en los sistemas, dicha revolución está marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas [1].

Existen estudios que tratan de predecir la cantidad de dispositivos conectados a internet y conectados entre sí, la mayoría de ellos concluyen que puede ser una cifra cercana a los 50 mil millones para el año 2022, por lo que se considera que la internet de las cosas tiene grandes implicaciones y desafíos como a nivel de ciberseguridad, velocidad de conexión y redes. Dicho retos deberán ser resueltos, por lo

que es imperativo implementar nuevos sistemas de comunicación en las redes de soluciones IoT que garanticen la velocidad de transmisión de la información, y así permitir grandes avances y mejoras, no solamente a nivel de usuario, sino especialmente para compañías y organizaciones.

De esta manera, se plantea como problemática la necesidad de identificar el estado de la tecnología LiFi, teniendo en cuenta el impacto a través de su evolución y el desarrollo que ha tenido. Para ello, en el presente documento se realiza una investigación sobre la conexión inalámbrica LiFi, desde la cual se identifiquen los principios de funcionamiento que la componen, y su impacto tecnológico en la convergencia con redes de soluciones IoT. Lo anterior, con base en la información analizada, de modo que sea posible integrar los resultados de investigaciones culminadas y pruebas realizadas en el tema de LiFi para revisar avances, tendencias y retos de su integración con el internet de las cosas. Dentro del alcance del documento se pretende puntualizar en una de las posibilidades a futuro de la convergencia de LiFi, IoT y servicios de la nube considerando la iluminación como un servicio.

2. Metodología

La metodología usada es de enfoque cualitativo de tipo descriptivo donde se desarrolla un análisis documental mediante la recolección de fuentes de información, es decir, libros y artículos de tipo académico recientes o relevantes en idioma español e inglés a los que es posible acceder sin ningún tipo de pago, las fuentes están centradas en las temáticas expuestas. Se descartaron artículos de opinión debido al impacto tecnológico de los temas tratados, los informes emitidos por organizaciones oficiales o no y documentos guía son recursos usados para complementar la información.

Se busca tener una visión amplia de la tecnología LiFi y las múltiples aplicaciones al ser integradas con redes IoT, por lo que se implementó para la técnica de recolección de datos una matriz de análisis documental. Las bases de datos empleadas para acceder

a las fuentes son bases de datos abiertas como es el caso de SciELO y Scopus; los criterios de búsqueda se establecieron de acuerdo con las temáticas definidas para la investigación: LiFi, internet de las cosas, ciudades inteligentes. Debido a que las temáticas propuestas involucran tecnologías recientes, se dio prioridad a las investigaciones publicadas durante los últimos 6 años, además de realizar una segunda búsqueda en Google académico.

Una vez clasificadas y analizadas todas las fuentes de información, se tomaron los criterios más relevantes y actuales con el fin de contribuir con en análisis de la tecnología LiFi, como se ha integrado a las redes IoT y sus posibilidades a futuro, puesto que la convergencia de estas tecnologías se encuentra en su etapa inicial. La discusión enuncia las oportunidades y ventajas de la convergencia de estas tecnologías resaltando la importancia de avanzar en controles de seguridad para dispositivos IoT y el fortalecimiento de tecnologías de apoyo como servicios de la nube.

3. Marco teórico

La tecnología hoy en día se mueve más rápido de lo que se puede llegar a consumir y adquirir, en lo que se conoce hoy en día, el WiFi (Wireless Fidelity) es el medio de comunicación inalámbrica más común, lo usan desde las amas de casa hasta el presidente de una importante compañía, de igual manera se encuentra tanto en una cafetería como por las calles, el WiFi es parte de nuestra vida social, laboral y emocional. Algunas personas desconocen el significado de lo que podría reemplazar el WiFi, y es lo que se conoce como LiFi, que en español hace referencia a Fidelidad de la luz, entendida como la comunicación por medio de la luz visible [1] [2]. Se basa en la idea de usar la luz de los bombillos LED que se usa normalmente en casa o lugares de trabajo para transmitir información [3], estos objetos son muy fáciles y económicos de fabricar.

El LiFi como toda tecnología tiene un gran recorrido en cuanto a estudios, el Visible Light Communication (VLC, por sus siglas en inglés), en español

comunicaciones por luz visible se define como la transmisión de datos por medio del espectro de luz visible [4], que utiliza entre 400THz y 800 THz como portadora óptica para la transmisión de datos e iluminación [5] [6], es la precursora de la tecnología del LiFi. Lo que se plantea inicialmente con esta tecnología es transmitir información usando la luz y basándose en los principios de la iluminación.

3.1. Características principales de LiFi.

El funcionamiento es muy sencillo, para poder transmitir información desde y hacia internet se incorpora un chip a la bombilla LED y se conecta un fotodiodo (diodo con sensibilidad a la luz) a la recepción, por ejemplo: un celular, un computador, una tablet, entre otros, este obtendrá los cambios de luz y los enviará de nuevo al dominio central eléctrico, así se completa el ciclo de recibir y enviar información [7] [8]. De igual manera es imprescindible tener una conexión a internet para que la antena de la bombilla transmita la información al resto de receptores ya sea de una vivienda u oficina. Otra forma sencilla de verlo es que el envío de información usa la técnica morse, en vez de usar el sonido usa una bombilla LED, la cual maneja un sistema binario para ser traducido por el receptor [9].

De forma más explícita, lo anterior se entiende por el principio de funcionamiento de la transmisión por medio de la luz visible. Cuando circula corriente continua a través de un diodo (componente electrónico de dos terminales que permite la circulación de la corriente eléctrica en un solo sentido), los fotones se emiten desde el diodo hasta el espacio mediante la luz visible [10] [11], por ejemplo, si se está en un cuarto y se varía la intensidad de la luz, los fotones emitidos y el valor de dicha corriente también varía, si se aumenta la corriente la luz tiende a ser más brillante, así mismo si se disminuye la corriente se verá reflejado como se atenúa la luz emitida por el LED que se encuentra conectado con el chip [12]. Los diodos emiten luz de diferentes colores, esto depende de los materiales y la tecnología que se use, los colores más frecuentes son: blanco, azul, rojo y

verde. Gracias al material semiconductor como lo es el galio o silicio que se usa para su fabricación, la intensidad de la luz puede ser modulada para velocidades muy altas las cuales no logran ser percibidas por el ojo humano, esta velocidad es captada por el fotodiodo o foto receptor la cual obtiene un flujo de corriente eléctrica utilizando como medio los fotones emitidos por un diodo LED [13] [14]. Así mismo como la tecnología WiFi, LiFi maneja protocolos, en este caso por medio de luz visible con un ancho de banda, dichos protocolos son establecidos por el Instituto de Ingenieros en Eléctrica y Electrónica (IEEE), que con el proyecto 802 define los estándares que actúan sobre las redes [15]. El estándar IEEE 802.15.7 define la capa física y la capa de control de acceso, este estándar tiene la capacidad de brindar velocidad de datos para transmitir los servicios de multimedia, audio y video, lógicamente teniendo en cuenta varios factores como la compatibilidad con la iluminación en las infraestructuras y la interferencia que se pueda presentar entre en los espacios [16].

3.2. Contexto histórico de LiFi.

Por primera vez en 1880 Alexander Graham Bell logro la transmisión de un mensaje de voz por medio de las ondas de luz, el diseño del fonógrafo era muy sensible, se interrumpía con facilidad la transmisión y esto llevo a que el proyecto del teléfono fuera el ganador [1]. En 1990 se realiza un enfoque en los LED de espectro de luz visible los cuales se presentan en tres categorías: infrarrojos, luz visible y ultravioletas [17] [18]. En 2003 se inicia el análisis de una dualidad que ayude como iluminación, pero al mismo tiempo que funcione para transmitir información a lo cual se le conoce como espectro de luz visible para el ojo humano. En el 2008 el científico Harald Hass de la Universidad de Edimburgo, Reino Unido, brinda una innovación para incursionar en el ámbito de espectro de luz visible, sin olvidar el hecho de poder navegar de manera inalámbrica por medio de bombillos [19]. En el año 2011 quien es conocido como "El padre del

LiFi", Harald Hass, se enfocó en esta tecnología para iniciar su comercialización, de esto surgió una plataforma de comunicaciones ópticas inalámbricas que fundaron cuatro organizaciones a la que se le conoció como "Consorcio LI-FI", luego como Pure-VLC y hoy en día PureLifi [20]. En agosto de 2013, se comprobó la transmisión de datos de más de 1.6 Gbps en un solo LED, adicionalmente en octubre se conoció que había empresas chinas desarrollando kits lifi [21] [22].

En la actualidad empresas como PureLiFi (en Europa) y Signify (en Estados Unidos) trabajan en el desarrollo de nuevos productos para conectarse a LiFi, por lo pronto más de 30 clientes en Europa, América del Norte y Asia realizan pruebas piloto con la tecnología LiFi. Mientras, en América Latina; se pudo experimentar por primera vez dicha tecnología en la quinta edición del Encuentro Iberoamericano de Lighting Desing (EILD), llevado a cabo del 20 al 23 de marzo del 2019 en Colonia del Sacramento (Uruguay).

3.3. Beneficios y desventajas de LiFi.

Como toda tecnología, tiene sus pros y sus contras y aunque el LiFi aún está en desarrollo, muestra gran capacidad para reemplazar el WiFi.

Ventajas con LiFi:

1. Los LED tienen una vida útil larga ya que pueden llegar a tener más de 50.000 horas de vida sin perder su rendimiento luminoso. Se cuenta con energía eléctrica en prácticamente cada parte del mundo, solo es necesario instalar bombillos LED, la luz tiene 10.000 veces más el ancho de banda que las ondas de radio, se pueden lograr velocidades muy altas debido a la baja interferencia, por temas de salubridad, la luz no genera ningún tipo de enfermedad.
2. Los bombillos LED consumen menos energía y son altamente eficientes, por tal razón tienden a ser mucho más ecológicos, no contienen mercurio ni otros elementos perjudiciales para el

medio ambiente, adicionalmente su dualidad de uso ya que se recibe el servicio de luz eléctrica y LiFi al mismo tiempo [23].

3. En el caso del LiFi las ondas de radio serán reemplazadas por ondas de luz, por tal razón el LiFi funciona bajo el agua.
4. Ya que la señal se limita a un determinado espacio, las ondas de luz no penetran las paredes, y por ende no pueden ser interceptadas y no existe restricción de emisión electromagnética, adicionalmente se brinda una seguridad más grande en el envío de datos ya que solo se limita a dispositivos que estén dentro de la luz eléctrica [24].

Desventajas con WiFi:

1. La información se transmite a través de las ondas de radio que son limitadas y caras. Tiene un ancho de banda limitado. Con el rápido crecimiento del mundo y el desarrollo de tecnologías como 3G y 4G, se están quedando sin espectro [25].
2. La comunicación por radiofrecuencia requiere circuitos de radio, antenas y receptores complejos, sin mencionar que se requiere cableado para conectar los puntos de acceso.
3. La seguridad y la disponibilidad van de la mano ya que en muchas áreas como por ejemplo aviones, plantas industriales no se aconseja el uso de teléfonos móviles donde las ondas de radio podrían llegar a ser peligrosas [26].
4. Las ondas de radio de WiFi llegan a penetrar a través de las paredes, ellas pueden ser interceptadas, es decir son un objetivo fácil, con LiFi no es posible que la luz atraviese muros. [27]

3.4. Características principales de IoT.

La internet de las cosas hace referencia a la interconexión digital de los objetos cotidianos con el internet, para entender el funcionamiento del paradigma de IoT se deben estudiar las capas que lo componen:

1. **Capa de detección:** Consiste en una red inalámbrica de sensores, actuadores y terminales M2M (machine to machine) en español Máquina a Máquina. Los sensores permiten generar datos del entorno que puede hacer referencia a una variable de temperatura, movimiento, peso o datos particulares en función de la implementación de IoT o interactuar con el mismo, mientras que los actuadores son los encargados de interactuar con el entorno en una situación definida. [28]
2. **Capa de transporte:** Es la encargada de la transferencia libre de errores de los datos entre la capa de detección y la capa de aplicación. Se puede hacer uso de sistemas de comunicación alámbricos (vía ethernet, fibra óptica u otros) e inalámbricos (WiFi, 5G, LiFi, NFC, Bluetooth u otros). [28]
3. **Capa de operación y gestión:** Se encarga de procesar todos los datos que han sido recogidos por los dispositivos IoT, en esta capa se sitúan los servicios de procesamiento de datos como Big data, machine learning, minería de datos o cloud computing. De acuerdo con las reglas de negocio definidas su puede distinguir entre la información que debe ser procesada en tiempo real por la plataforma y la que puede ser almacenada. [28]
4. **Capa de aplicación:** Cualquier aplicación del usuario, industrial o doméstica, que haga uso de dispositivos conectados, con el fin de satisfacer las necesidades de servicio. [28]

Adicionalmente IoT maneja unos principios básicos los cuales son fundamentales para su proceso de éxito:

1. **Escala:** Cada tecnología que llega a manos de la sociedad tiene un crecimiento exponencial el cual requiere una conexión y almacenamiento permanente, el hecho de que IoT abarque varias ubicaciones físicas y parte del ámbito global, mejora la capacidad de respuesta de dichos aparatos y las personas se sienten cómodas con tener todo a la mano.

2. **Seguridad:** Para IoT la seguridad es su principal característica, ya que se encuentra en cada uno de sus principios, de ser una comunicación segura desde los dispositivos hasta la nube teniendo la estabilidad de la conformidad y la iteración. La seguridad en IoT incluye todo el ciclo de vida tanto el dispositivo físico como en las capas lógicas del diseño.
3. **Agilidad:** Para el ser humano la tecnología se ha convertido en algo que se requiere con rapidez y eficacia, ya no se permite algo que tome más de unos minutos, lo que IoT busca es cuantificar los procesos que puede llegar a tener los dispositivos y manejarlo de manera rápida, el ciclo de vida de IoT cuenta con unas fases: adquirir, fabricar, incorporar, probar, implementar y administrar. IoT evalúa estas fases midiendo su análisis predictivo para ser mejores sus dispositivos físicos. [29]

3.5. Beneficios de LiFi en redes IoT.

Existe una gran cantidad de ventajas que supondría usar LiFi en los sistemas de IoT, a continuación, se mencionan algunas:

1. **Alta velocidad de transmisión:** En 2011 el profesor Harald Haas de la Universidad de Edimburgo mostró el primer dispositivo Li-Fi transmitiendo a 10 Mbps, desde ese momento se han venido desarrollando investigaciones donde se demuestran las velocidades que LiFi puede alcanzar en ambientes controlados a medida que se vaya optimizando el funcionamiento tanto de la parte emisora como de la parte receptora. Entre los resultados de los estudios realizados se destacan velocidades de:
 - 1.1) **1 Gbps:** Esta fue la velocidad alcanzada con el primer chip transmisor LiFi en un proyecto donde participaron varios integrantes de la IEEE. En el transmisor se utiliza una matriz de micro diodos emisores de luz y en el receptor utiliza un conjunto de fotodiodos integrados. [30]

1.2) **20 Gbps:** Esta investigación fue realizada en la Universidad Nacional de Tecnología de Taipéi, Taiwán. En el estudio realizado se propone un sistema de transporte óptico basado en luz láser para LiFi en zonas exteriores empleando la técnica de inyección lumínica de luz de cavidad vertical. [31]

1.3) **100 Gbps:** Esta investigación fue realizada en la Universidad de Edimburgo. Esta solución emplea múltiples transmisores de diodos laser RGB utilizando todo el espectro de luz visible [32].

Los investigadores continúan experimentando con esta tecnología puesto que los estudios que se han realizado contemplan el límite teórico de velocidad de 224 Gbps.

2. **Garantizar el alcance mediante una red híbrida WiFi – LiFi:** Uno de los principales inconvenientes de las redes WiFi en su integración con el IoT, es la degradación que sufre la señal, lo que dificulta la conexión de los dispositivos más alejados del punto de acceso. Sin embargo, al crear redes híbridas WiFi – LiFi se puede garantizar el alcance a todos los dispositivos IoT que se encuentren un espacio determinado. En la Figura 1 se observa la cobertura de señal WiFi junto con la cobertura proporcionada por las celdas LiFi.

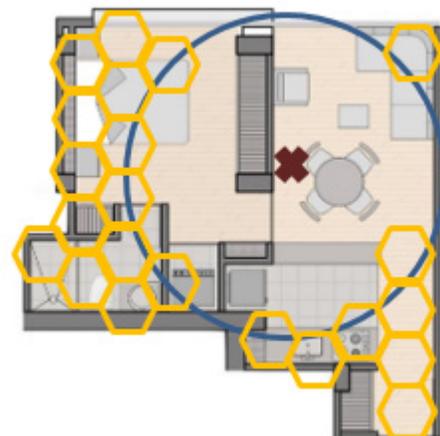


Figura 1. Red híbrida WiFi – LiFi.

Fuente: elaboración propia.

3. **Mayor seguridad en la comunicación:** Debido a que la luz no puede atravesar obstáculos opacos, paredes o techos, la tecnología LiFi puede ser implementada en aplicaciones de alta seguridad puesto que la comunicación por radiofrecuencia es propensa a intrusos, lo que a su vez permite garantizar la seguridad de los dispositivos IoT.
4. **Información Geo – posicionada:** Es aquella información que es oportuna cuando se encuentra ubicada, o puede accederse a ella, en el lugar geográfico en el cual se necesita y en el momento que se necesita. La tecnología LiFi facilita la ubicación del punto de acceso al servicio, ya que solo se debe ubicar el LED que transmite la información obtenida de los dispositivos IoT [6].
5. **Disminución de costos:** La tecnología LiFi hace uso de LED los cuales tienen un consumo de potencia mínimo y una alta vida útil. Lo que permite crear una gran red de IoT sin incurrir en sobrecostos.
6. **Disponibilidad:** Debido a la disminución de costos, es posible reforzar la redundancia agregando LED LiFi adicionales y regulando la intensidad de las luces.
7. **Densidad de usuarios y dispositivos:** Una de las principales características del IoT es el crecimiento acelerado de dispositivos conectados a internet, por lo que al implementar LiFi se cuenta con un gran ancho de banda y eficiencia espectral que permite aumentar la densidad de usuarios con cambios mínimos en la velocidad de datos para cada usuario, puesto que la luz visible no se satura. En la Figura 2 se observa el resultado de una prueba en ambiente controlado donde se realiza una comparación de la velocidad de datos por dispositivo en función del número de dispositivos conectados por redes. En la Figura se refleja como la velocidad de WiFi desciende a medida que aumenta el número de dispositivos conectados, mientras que LiFi mantiene la velocidad constante a pesar de tener un aumento en el número de dispositivos que se conectan a la red.

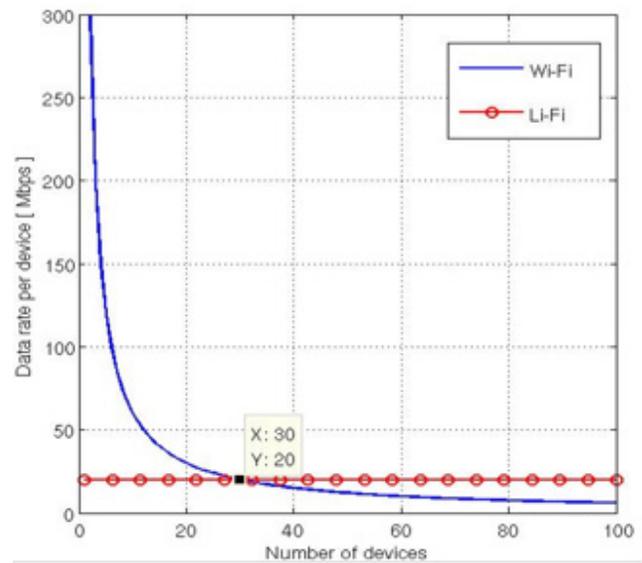


Figura 2. Comparación de Mbps vs Número de dispositivos para WiFi y LiFi [33].

8. **Lighting as a Service (LaaS):** Actualmente se encuentra en auge la iluminación inteligente gracias la compañía Signify y su plataforma Interact, ya que permite administrar redes de sensores conectados a iluminación LED, sin embargo y gracias al desarrollo de LiFi se ha creado el concepto de LaaS. En la Figura 3 se observa como LaaS es el resultado de la convergencia de varias tecnologías: iluminación inteligente, servicios de la nube, IoT y LiFi [34] [35], con el objetivo de lograr una mayor eficiencia y un menor impacto negativo derivado del uso de la energía para la iluminación.

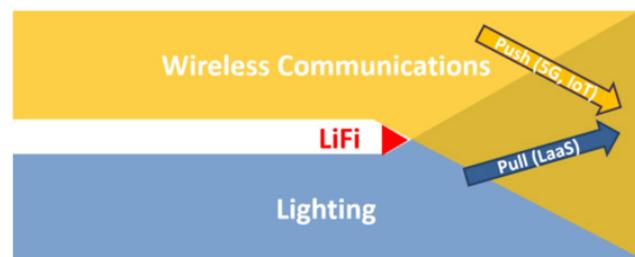


Figura 3. LaaS [33].

3.6. Retos de LiFi en redes IoT.

La integración de la tecnología LiFi a redes IoT, se perfila como una solución telemática altamente

escalable, por lo que se debe tener en cuentas los retos que presenta dicha integración [36]:

8. Muchos de los dispositivos IoT que se encuentran en el mercado no cuentan con receptor LiFi. Sin embargo, compañías como PureLiFi ha desarrollado módulos LiFi que pueden ser fácilmente adaptados a los dispositivos presentes en el mercado.
9. Implementación de un estándar robusto y flexible para sistemas LiFi.
10. Aumentar la cobertura de servicio.
11. Estudio de técnicas de acceso múltiple en una red de usuarios móviles.

3.7. Aplicaciones de la integración de LiFi con el internet de las cosas

El aumento del número de dispositivos conectados da origen a diversas aplicaciones donde se pueden utilizar las capacidades de conexión IoT mediante LiFi, se han realizado aplicaciones con fines académicos y se plantean varias posibilidades a futuro en distintos entornos. A continuación, se presentan ejemplos de entornos de aplicación de LiFi integrado a IoT.

1. **Domótica:** Una solución que implementa una red híbrida WiFi– LiFi [36] permite encender focos LiFi que a su vez conectan dispositivos de una ubicación específica, los focos LiFi permiten una mayor velocidad de transmisión de los datos obtenidos de dispositivos IoT, esta solución es gestionada desde una aplicación Android. Hay dos modos a través de los cuales se pueden controlar de manera remota los electrodomésticos conectados a la red: manual y automático. Por ejemplo, desde la aplicación se puede dar el comando manual para encender o apagar el aire acondicionado o un comando automático que encienda el aire acondicionado si el sensor de temperatura detecta una temperatura superior al parámetro establecido en la configuración de la aplicación y que apague automáticamente el

aire acondicionado una vez se haya regulado la temperatura [37].

2. **Toma de decisiones en organizaciones:** Los sensores usados para percibir el entorno físico permiten recuperar información en tiempo real que al ser correctamente gestionada apoya la toma de decisiones en las organizaciones [38], la información recuperada por los dispositivos IoT debe ser tratada y almacenada de acuerdo con la clasificación de la información definida en la política de seguridad de la información de la organización, dicha información puede ser almacenada en la nube de forma segura [39]. Para tomar una decisión en la organización se deben analizar una gran cantidad de datos, lo que supone un gran número de sensores y actuadores conectados a la red, por lo que se implementa la tecnología LiFi para optimizar la velocidad en la transmisión de los datos, para su posterior procesamiento y almacenamiento tanto en la nube pública, como en la nube privada. En la Figura 4 se observa la metodología de trabajo de la aplicación [40].
3. **Salud:** El cuidado de los pacientes en los hospitales implica muchos profesionales de la salud diferentes, todos necesitan compartir información de los pacientes, es por esto por lo que existe un creciente interés y uso de tecnologías de la información y la comunicación para apoyar servicios de salud. Sin embargo, así como aumentan los requerimientos de comunicación en los hospitales, también aumenta el uso de dispositivos WiFi y la radiofrecuencia que estos producen [41]. El modelo propuesto para el monitoreo de pacientes integra LiFi con dispositivos IoT, se adhieren varios sensores al paciente que recogen los datos del cuerpo humano como por ejemplo, temperatura o pulsaciones por minuto, la información es enviada a un microcontrolador que transmite los datos en forma de luz al receptor LiFi para que sean almacenados en la plataforma de monitoreo de pacientes [42], el uso de focos LiFi garantiza además contar con información geo-posicionada lo cual optimiza el monitoreo de los pacientes.

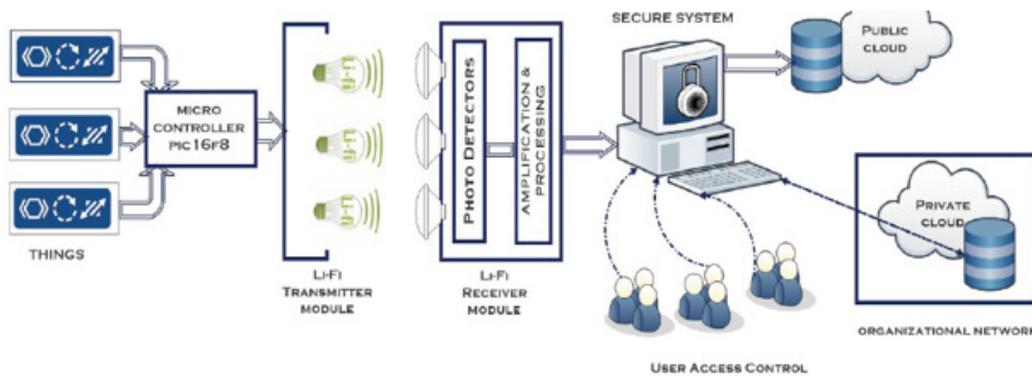


Figura 4. Sistema LiFi de apoyo de toma de decisiones en organizaciones [40].

4. **Comercio:** El tiempo que las personas emplean para realizar compras en los supermercados es la base de varias propuestas planteadas que implementan soluciones que integran LiFi con dispositivos IoT, como por ejemplo, una aplicación hace uso de estantería inteligente que ayuda al cliente a encontrar los artículos que ha listado dentro de la aplicación con anterioridad y mediante sensores y actuadores se envía información de ofertas dependiendo de los datos obtenidos por los dispositivos IoT [43]. Se propone también un sistema basado en LiFi y sensores que permita a los empleados del supermercado realizar un control de inventario y a los clientes identificar el punto exacto donde se encuentra el producto que requieren [44] [45].
5. **Transporte:** Se propone adoptar la tecnología LiFi como alternativa para difundir los datos en una red ad-hoc vehicular (VANET, por su acrónimo en inglés). En este tipo de red de comunicación cada vehículo es un nodo de la red por lo que se propone incorporar a los vehículos un microcontrolador, diodo emisor de luz, fotodiodo, unidad de comunicación a bordo denominada OBU (On-Board Unit), unidad de aplicación (AU, por sus siglas en inglés) y sensores para medir parámetros como velocidad, aceleración, distancia entre vehículos, entre otros. La información recogida por el vehículo es transmitida de forma rápida a otros nodos de la red a través de LiFi [46] [47]. Las redes VANET

basadas en la LiFi integrado con IoT permitirán impulsar aplicaciones vehiculares de: seguridad vial, eficiencia vial y servicios comerciales y de información.

6. **Ciudad Inteligente:** El término Ciudad Inteligente es un concepto emergente que define un sistema complejo e interconectado, de acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación de Colombia, [48] “una ciudad inteligente es aquella que tiene una visión holística de sí misma y en la cual sus procesos se apoyan en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, promoviendo la innovación y el desarrollo sostenible para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos”. Con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, se están implementando soluciones de tecnologías de la información y comunicación que incluyen la aplicación del paradigma de IoT a los escenarios urbanos para apoyar la visión de la ciudad inteligente [49], en la Figura 5 se observa cómo se acopla el paradigma de IoT al concepto de Ciudades Inteligentes.

Una de las posibilidades a futuro más ambiciosas es integrar focos LiFi a redes de alumbrado público inteligentes [50] [51], lo que permitirá crear masas de datos, que serán el insumo para desarrollar servicios y soluciones innovadoras para el desarrollo integral de la ciudad. Se propone un sistema de iluminación inteligente equipado con focos LED

con chip LiFi, sensores, actuadores, dispositivos integrados y cámaras para responder a su entorno de forma dinámica e interactiva, este sistema será la columna vertebral de una ciudad inteligente [52] [53]. Los datos recolectados por estos dispositivos

serán procesados en servicios de nube, lo que permitirá fomentar nuevas aplicaciones, estrategias y políticas que permitan mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, en la Tabla 1 se listan algunas de las posibles aplicaciones [50].

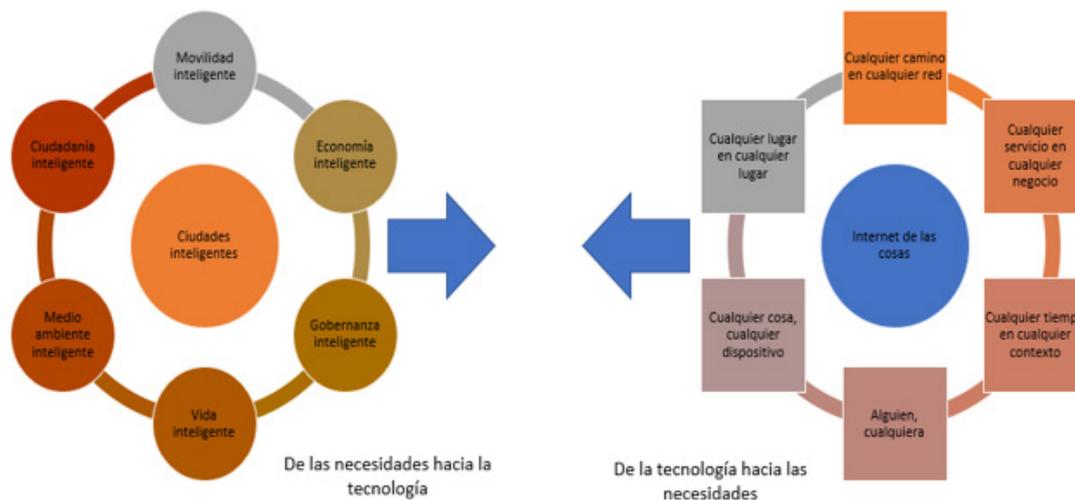


Figura 5. Integración del internet de las cosas a las ciudades inteligentes.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Aplicaciones en Smart Cities basadas en una red de alumbrado público inteligente con LiFi.

Área	Aplicación
Seguridad	Sensores de movimiento y ruido para el control de perímetro
	Cámaras de cuerpo integradas al uniforme
	GPS para mapeo geográfico de incidentes y localización de vehículos
Transporte	Control inteligente de semáforos
	Peaje automático
	Sistema de señalización dinámica
	GPS para monitoreo y localización de flotas
Salud	Sistema de optimización de trayectos para ambulancia
	Monitoreo de pacientes
	Sensores de humo, gases tóxicos y rayos ultravioleta integrados a sistemas de alerta
Utilidades	Sensores para adaptación automática de iluminación urbana
	Monitoreo individual de consumo de energía
	Monitoreos de presión de agua en tuberías para el control de fugas
Infraestructura urbana	Sensores de volumen de residuos para contenedores públicos de basura
	Medidores de calidad del aire
	Densidad de población

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones

LiFi es una de las tecnologías de la información y la comunicación más reciente amigable con el medio ambiente, que envía información a través de ondas de luz haciendo usos de los dispositivos LED por su eficiencia energética sin afectar la iluminación, por lo que se perfila como una alternativa en un mundo donde el espectro electromagnético de comunicación esta evidentemente saturado. Al estudiar LiFi como una nueva tecnología de transferencia de rápida de información es posible usarla en la capa de transporte del paradigma de IoT para abarcar la gran densidad de datos y dispositivos de IoT, evitando así la saturación del espectro radioeléctrico utilizando el espectro de luz visible y abriendo ilimitadas áreas de aplicación y nuevos servicios.

La tecnología LiFi ofrece una mayor velocidad en comparación con el WiFi tradicional, sin embargo, LiFi no reemplazará en un futuro cercano a WiFi, sino que la complementará y fortalecerá como tecnología inalámbrica implementada en la capa de transporte del paradigma IoT permitiendo generar una red de comunicación eficiente para la transferencia de datos de los dispositivos conectados, además agilizará el tiempo de procesamiento y análisis de datos obteniendo así un mayor rendimiento en las aplicaciones de usuario.

La integración de LiFi con IoT también presenta retos y desafíos en varios aspectos como la seguridad, soluciones para ambientes con luz solar en exteriores o los componentes de hardware utilizados en el dispositivo emisor y receptor, por eso aún se sigue trabajando e investigando sobre LiFi con el fin de aprovechar todos los beneficios del espectro de luz visible, para difundir de manera globalizada su funcionamiento y generar una gran demanda de los dispositivos LiFi que se encuentran actualmente en el mercado. El proceso de investigación y adopción de esta tecnología es liderado por los países desarrollados donde se evidencia que es un paso al bienestar de la humanidad, desarrollo integral de las ciudades, reducción de consumo energético y eficiencia de las telecomunicaciones.

5. Discusión

El análisis que se ha planteado entorno a la integración de la tecnología LiFi con IoT permite comprender la importancia de las investigaciones desarrolladas sobre esta tecnología puesto que es una de las alternativas planteadas para la saturación del espectro electromagnético. La integración de LiFi en la capa de transporte del paradigma IoT ha permitido realizar ejercicios académicos de aplicación en múltiples áreas obteniendo resultados satisfactorios. Sin embargo, al aún no estar estandarizada esta tecnología, no se ha difundido de manera global por lo que existen muchos retos por abordar.

El futuro de los sistemas LiFi integrados a IoT dependerá de la capacidad de fabricar componentes de uso comercial, miniaturizados y de bajo costo que logren ser acoplados a los dispositivos existentes utilizados en el día a día. Aunque los sistemas LiFi proporcionan seguridad inherente al tener un rango de alcance limitado y no traspasar obstáculos como paredes, se debe fortalecer la seguridad de los dispositivos de IoT para lograr soluciones altamente seguras y escalables que puedan ser implementadas en escenarios que demanden un alto nivel de seguridad de la red como por ejemplo una base militar. LiFi se convertirá sin duda en uno de los componentes principales de las redes de alumbrado públicas inteligentes por lo que es preciso que los gobiernos incluyan en los planes de desarrollo el concepto de ciudad inteligente que les permita en un futuro adoptar tecnologías que integren LiFi a IoT, de modo que incentiven el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y así cumplir con los principios gubernamentales.

Referencias

- [1] J.E. Peñafiel, "Análisis de la tecnología LI-FI comunicaciones por luz visible como punto de acceso a internet, una alternativa a la transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas", Tesis de Grado Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador,

2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7770/1/UPS-CT004629.pdf>
- [2] F. X. Salinas, “Estudio E Implementación De Un Prototipo Para La Aplicación De Un Sistema Óptico De Comunicación Inalámbrica (Tecnología Li-Fi (Lightfidelity))”, Tesis de Grado Bases de Datos y Redes, Universidad De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2016.
- [3] D. Velasco, “Tecnología LIFI: Estudio sobre su aceptación en el ámbito doméstico”, Tesis de Grado, Universidad de Valladolid, España, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/27600/1/TFG-E-423.pdf>
- [4] M. L. González, “Dispositivos Electrónicos” Buenos Aires: Edulp Exactas editorial de la Universidad de la Plata, 2015.
- [5] B. Lorenzo, “Estudio del Estado del Arte de los sistemas de comunicaciones por luz visible (VLC)”, Tesis de Grado, Universidad de Sevilla, España, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90696/o/+del+Estado+del+Arte+de+los+sistemas+de+comunicaciones+por+luz+visible+%28VLC%29.pdf>
- [6] L. R. Bueno, “Servicios Basados En Información Geoposicionada Mediante La Utilización De Tecnología Li-Fi”, Tesis de Grado, Buenos Aires, Argentina, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uade.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/6479/PFI%20-%20Leandro%20Bueno%20-%20Entrega%20Final.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [7] O.D. Alao, J.V. Joshua, A.S. Franklyn, O. Komolafe, “Light Fidelity (Li-Fi): An Emerging Technology for The Future” (May. - Jun. 2016). [En línea]. Disponible en: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jmca/papers/Vol3-issue3/D03031828.pdf>
- [8] M. Hadi, “Wireless communication tends to smart technology li-fi and its comparison with wi-fi,” American Journal of Engineering Research (AJER), vol. 5, no. 5, pp. 40–47, 2016.
- [9] O.E. Cárdenas, J.R. Molina, R.F. Morocho, J.P. Novillo, G.R. Moreno, “Estudio entre las tecnologías WIFI – LIFI en la optimización del servicio de internet”. Journal Of Science And Research: Revista Ciencia E Investigación, E-Issn: 2528-8083, Vol. 2, No. 8, Octubre - Diciembre 2017. <https://doi.org/10.26910/issn.2528-8083vol2iss8.2017pp50-53>
- [10] R.L. Ocaña, “Análisis de prestaciones de un transmisor/receptor LiFi”, Tesis de Grado Ingeniería Electrónica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, España, 2015.
- [11] L.A. Combariza, C.A. Vargas, J.D. Acosta, “Redes Li-Fi Comunicaciones inalámbricas rápidas y de bajo costo”, Tesis de Grado Ingeniería de Software, Fundación Universitaria Unipanamericana, Bogotá, Colombia, 2015.
- [12] M. Espinosa, M. Vivanco, “Li-Fi: Velocidad de Internet sorprendente bajo la Luz Visible”. Revista Killkana Técnica. Vol. 1, No. 2, pp. 1-6, mayo-agosto, 2017. https://doi.org/10.26871/killkana_tecnica.v1i2.76
- [13] K. Bandara and Y.-H. Chung, “Reduced training sequence using rls adaptive algorithm with decision feedback equalizer in indoor visible light wireless communication channel,” in ICT Convergence (ICTC), 2012 International Conference on, pp.149–154, IEEE, 2012. <https://doi.org/10.1109/ICTC.2012.6386802>
- [14] G.P. Moreno, “Prototipo De Comunicación Vía Luz Li-Fi, Para La Transmisión De Datos Mediante Un Web Service”, Tesis de Grado Ingeniería en Sistemas Informáticos y Computacionales, Universidad Técnica De Cotopaxi, Latacunga, Ecuador, 2018.
- [15] J.S. Gil, “Diseño E Implementación De Red Lifi Para Optimizar La Transmisión De Datos De Forma Inalámbrica Y Mejorar El Tráfico De Red En Las Empresas”, Tesis de Grado Ingeniería Electrónica, Universidad Cooperativa De Colombia, Bogotá, Colombia, 2016.
- [16] V. N. Rosero, “Análisis y estudio del uso de la tecnología Li-Fi en sistemas de reproducción multimedia mediante streaming para la

- utilización a mediano plazo en el Ecuador”, Tesis de Grado, Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10223/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-273.pdf>
- [17] R.R. Sharma, A. Sanganal, “Li-Fi Technology Transmission of data through light”, *Int.J.Computer Technology & Applications*, Vol 5 (1), 150-154, Enero-Febrero, 2014.
- [18] J. Rani, P. Chauhan, R. Tripathi, “Li-Fi (Light Fidelity)-The future technology In Wireless communication”, *International Journal of Applied Engineering Research*, ISSN 0973-4562 Vol.7 No.11 (2012).
- [19] F. Aftab, “Potentials and Challenges of Light Fidelity Based Indoor Communication System”, *International Journal of New Computer Architectures and their Applications (IJNCAA)* 6(3): 92-102 The Society of Digital Information and Wireless Communications, Vol.3, no.3, Octubre de 2016, pp. 91-102.
- [20] A. Tagalser, “Evaluation Study Li-Fi Vs Wi-Fi” *The International Journal Of Engineering And Information Technology (Ijeit)*, Vol. 2, No. 2, June 2016.
- [21] H. Haas, L. Yin, S. Member, Y. Wang, S. Member, and I. Paper, “What is LiFi ?,” vol. 34, no. 6, pp. 1533–1544, accepted December 7, 2015.
- [22] J. M. Molero, “AFE para transmisión LIFI”, Tesis de Grado Ingeniería Electrónica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2018.
- [23] O. E. Terán, E.E. Ayala, P.A. Hernández, “Internet De Las Cosas (Lot) Como Herramienta Para La Optimización De La Cadena De Suministro Del Sector Secundario”, *Revista Global de Negocios* Vol. 5, No. 6, 2017, pp. 107-118
- [24] K. I. Ahn, J.K. Kwon, “Color intensity modulation for multicolored visible light communications,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 24, no. 24, pp. 2254–2257, diciembre. 2012. <https://doi.org/10.1109/LPT.2012.2226570>.
- [25] S. Dimitrov, H. Haas, “Information rate of OFDM-based optical wireless communication systems with nonlinear distortion,” *IEEE J. Lightw. Technol.*, vol. 31, no. 6, pp. 918–929, marzo 2013. <https://doi.org/10.1109/JLT.2012.2236642>
- [26] V. Jungnickel, V. Pohl, S. Nonnig, C. Von Helmlolt, “A physical model of the wireless infrared communication channel,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 20, no. 3, pp. 631–640, Abril. 2002. <https://doi.org/10.1109/49.995522>
- [27] E.A. Hurtado, “Estudio de la tecnología light-Fidelity (Li-Fi) y su vinculación con comunicaciones 5G”, Tesis de Grado Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19266>
- [28] J. Conde, “Control de inventario usando redes de sensores”, Departamento de Ingeniería Telemática, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, España, 2015. [En línea]. Disponible en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/25989/PFC_Jenny_Conde_Yancha.pdf
- [29] A. Rodríguez, J. Paternina y O. Salcedo, “Evaluation of QoS in RF/Li-Fi hybrid networks on 5th generation environments”, *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 26, pp. 141 – 154, septiembre 2017. <https://doi.org/10.19053/01211129.v26.n46.2017.7326>
- [30] S. Rajbhandari, H. Chun, G. Faulkner, K. Cameron, Aravind, R. Henderson, D. Tsonev, Z. Chen, H. Haas, E. Xie, J. J. D. McKendry, J. Herrnsdorf, E. Gu, M. D. Dawson and D. O’Brien, “High-Speed Integrated Visible Light Communication System: Device Constraints and Design Considerations”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 33, no. 9, pp. 1750- 1757, 2015. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2015.2432551>
- [31] C. L. Ying, H. H. Lul, C. J. Cheng, P. C. Peng and W. J. Ho, “20-Gbps optical LiFi transport system,” *Optics letters*, vol. 40, no. 14, pp.

- 3276-3279, 2015. <https://doi.org/10.1364/OL.40.003276>
- [32] D. Tsonev, S. Videv and H. Haas, "Towards a 100 Gb/s visible light wireless access network," *Optics Express*, vol. 23, no. 2, pp. 1627- 1637, 2015. <https://doi.org/10.1364/OE.23.001627>
- [33] H. Haas, "LiFi Technologies", Universidad de Edimburgo, Edimburgo, Escocia, 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.homepages.ed.ac.uk/hxh/Li-Fi_PAPERS/LiFi_Workshop_Haas.pdf
- [34] N. Van. "Light as a Service", Philips Lighting Solutions, Austin, Texas, Estados Unidos, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/2-Lighting-as-a-Service-Final-pdf.pdf>
- [35] D. Ingram, B. Erickson, P. Chamberlain. "Discover Lighting / Energy Efficiency as a Service", NALMCO, Estados Unidos, 2018. [En línea]. Disponible en: https://www.nalmco.org/NALMCOpdfs/Convention/2018/Handouts/Tue_830am_Discover_Lighting_as_a_Service-Panel_Discussion-DLL.pdf
- [36] M. Sathiyarayanan, V. Govindraj y N. Jahagirdar, "Challenges and opportunities of integrating Internet of Things (IoT) and Light Fidelity (LiFi)", 2017 3rd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT), Tumkur, 2017, pp. 137-142. <https://doi.org/10.1109/ICATCCT.2017.8389121>
- [37] V. Govindraj y M. Sathiyarayanan, "Customary homes to Smart homes using internet of things (iot) and mobile application," Proceedings of the International conference on Smart Technologies for Smart Nations. IEEE, 2017. <https://doi.org/10.1109/SmartTechCon.2017.8358532>
- [38] D. Fisher, "Rapid Deployment of Internet-Connected Environmental Monitoring Devices", *Advances in Internet of Things*, 2014, pp. 46-54. <https://doi.org/10.4236/ait.2014.44007>
- [39] J. Bokefode, A. Bhise, P. Satarkar, D. Modani, "Developing A Secure Cloud Storage System for Storing IoT Data by Applying Role Based Encryption". *Procedia Computer Science* 89, 2016, pp. 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.06.007>
- [40] J. D. Bokefode, S. A. Ubale and R. M. Gai- kwad, "Retrieving Real Time Data Through IOT Devices and Storing Securely on Cloud Using Li-Fi", 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT), Pune, 2018, pp. 1-5. <https://doi.org/10.1109/I2CT.2018.8529393>
- [41] A. Navalakha y N. Maheshawari. "Data Services of Li-Fi in Hospital Management", *International Journal of Science and Research (IJSR)*, vol. 3, pp. 1631 – 1633, agosto 2014.
- [42] H. Harshita, P. Mithum, M. Geetha, M. Krutika, K. Sufiyan y Z. Shyma, "Patient Monitoring System using Li-Fi", *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 6, 2018
- [43] S. Akter, "LiFi based automated shopping assistance application in IoT", *Journal of Physics: Conference series*, vol. 1018, 2018
- [44] N. Gowda, P. Patkar, Ranjan, Rashmita y J. Pramal, "Supermarket Self Checkout Based on LI-FI", *International Journal of Latest Technology in Engineering Management & Applied Science (IJTEMAS)*, vol 7, pp. 21 – 22, abril 2018.
- [45] Z. Thomas, N. Kumar, and D. J. Preshiya, "Automatic billing system using Li-Fi module," in 2016 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP), 2016, pp. 2216–2219. <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754087>
- [46] T. N. Prabu, Adharsh M. Ashok Kumar M, "Vehicle to Vehicle Communication using Light Fidelity", *International Journal of Computer Applications*, Vol. 164, pg. 1-2, April 2017.
- [47] J. Agyemang y J. Kponyo, "Light Fidelity (LiFi) as An Alternative Data Transmission Medium in VANET", 2017 European Modelling Symposium, 2017. <https://doi.org/10.1109/EMS.2017.44>

- [48] P. Bonilla, "Política de ciudad y territorio inteligente", febrero de 2018. [En línea]. Disponible en: [https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/SMART%20CITIES/2018/2_Pol%C3%ADtica%20Ciudad%20y%20Territorio%20Inteligente_PBONILLA%20\(1\).pdf?](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/SMART%20CITIES/2018/2_Pol%C3%ADtica%20Ciudad%20y%20Territorio%20Inteligente_PBONILLA%20(1).pdf?)
- [49] J. Shah and B. Mishra, "IoT enabled environmental monitoring system for smart cities," 2016 International Conference on Internet of Things and Applications (IOTA), Pune, 2016, pp. 383-388. <https://doi.org/10.1109/IOTA.2016.7562757>
- [50] M. Castro, A. J. Jara and A. F. G. Skarmeta, "Smart Lighting solutions for Smart Cities," 2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, pp. 1374-1379, 2013. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2013.254>
- [51] R. López, "Ciudades inteligentes para el desarrollo", febrero de 2018. [En línea]. Disponible en: https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Vivienda%20Agua%20y%20Desarrollo%20Urbano/SMART%20CITIES/2018/3_Ciudades%20Inteligentes%20BIG_RLGHIO.pdf?
- [52] S. Bhardwaj, T. Ozcelebi and J. Lukkien, "Smart Lighting Using LED Luminaries," 2010 8th IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), pp. 654-659, 2010. <https://doi.org/10.1109/PERCOMW.2010.5470516>
- [53] H. Burchardt, S. Sinanovic, Z. Bharucha, H. Haas, "Distributed and autonomous resource and power allocation for wireless networks," IEEE Trans. Commun., vol. 61, no. 7, pp. 2758-2771, julio. 2013. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2013.053013.120916>

