

LI-FI NETWORKS IN 5TH ENVIRONMENTS

LI-FI EN ENTORNOS DE QUINTA GENERACIÓN

ÁNGEL IVÁN TORRES QUIIJE

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Master en Conectividad de Redes de Ordenadores. Lugar de trabajo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. atorres@uteq.edu.ec

JUAN CARLOS PISCO VANEGAS

Licenciado en Tecnologías con mención Electromecánica, Electrotecnología y Electrotecnia, Master en Tecnologías con mención Electromecánica, Electrotecnología y Electrotecnia. Lugar de trabajo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. jpisco@uteq.edu.ec

ANDREA RAQUEL ZUÑIGA PAREDES

Ingeniera en Sistemas Computacionales, Master en Gerencia de innovaciones educativas. Lugar de trabajo: Universidad Regional Autónoma de los Andes. andyzpr@gmail.com

ABSTRACT

The visible light communication (VLC) is a field of study and application very large today, it is considered a technology that works favorably as a complement to the communication of millimeter waves (mmWave) especially in short distance communications for networks 5th generation VLC is composed of multiple features that meet the demands of 5th generation technologies for high capacity, speed in data transmission, spectral and energy efficiency, reduced battery consumption and decreased latency. These badges include, but are not restricted to the abundant spectrum that is free of license, the ease of providing large data rates of Gbps, reduction of energy consumption and costs accessible of implementation. This article is focused on the knowledge, development and new advances of Li-Fi technology in wireless communications. Li-Fi is a base that contributes to the effective application of technology, in accordance with the requirements of a world in which telecommunications grow by leaps and bounds.

Finally, it is discussed through a comparison of mmWave with VLC in 5th generation networks, to determine the most suitable technology used in VLC downlink communications.

Keywords

Li-fi (light fidelity), mmWave (millimeter wave communication), 5G, VLC (visible light communication)

Resumen

La comunicación de luz visible (VLC) es un campo de estudio y aplicación muy grande hoy en la actualidad, se la considera una tecnología que trabaja favorablemente como complemento a la comunicación de ondas milimétricas (mmWave) especialmente en las comunicaciones de corta distancia para redes de 5ta generación. VLC está compuesto de múltiples características que cumplen con las exigencias de las tecnologías de 5ta generación para gran capacidad, velocidad en la transmisión de datos, eficiencia espectral y energética, consumo reducido de batería y disminución de la latencia. Estos distintivos incluyen, pero no se restringen al abundante espectro que se encuentra libre de licencia, la facilidad de proveer grandes tasas de datos de Gbps, reducción del consumo de energía y costos accesibles de implementación.

Este artículo está enfocado al conocimiento, desarrollo y nuevos avances de la tecnología Li-Fi en las comunicaciones inalámbricas. Li-Fi es una base que contribuye en la aplicación efectiva de la tecnológica, de acuerdo con los requerimientos de un mundo en el que las telecomunicaciones crecen a pasos agigantados.

Finalmente, se discute mediante una comparación de mmWave con VLC en redes de 5ta generación, para determinar la tecnología más apta empleada en las comunicaciones de enlace descendente de VLC.

Palabras clave:

Li-fi (fidelidad de la luz), mmWave (comunicación de ondas milimétricas), 5G, VLC (comunicación por luz visible)

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones móviles pronto empezarán un proceso de migración hacia los sistemas inalámbricos de 5ta generación, puesto que hoy en día estos sistemas representan el futuro de las telecomunicaciones móviles.

Los sistemas de 5ta generación, traen consigo mejoras en comparación con los sistemas de 4ta generación existentes. Las tecnologías 5G proveen de mayor velocidad en la transmisión de los datos, eficiencia espectral, eficiencia energética, reducción del consumo de energía y batería; en fin, reducir los costos de implementación.

5G hoy en día es la tecnología más prometedora por su capacidad para acrecentar notoriamente la cobertura de la red. Así mismo alarga la duración y consecuentemente la vida útil de la batería de los dispositivos móviles. Es decir, consigue una alta eficiencia energética en la red.

El espectro de ondas milimétricas (mmWave), tiene un alcance reducido y un ancho de banda que está disponible en abundancia. Esta tecnología también es adecuada para redes de 5ta generación que permiten la transmisión de datos de un Gbps. La banda de ondas milimétricas hace referencia al rango de frecuencia de 3-300 GHz con longitudes de onda en un rango de 1-100 mm.

Muchos estudios han demostrado que los usuarios inalámbricos estarán alrededor del 80% de su tiempo en el interior y el 20 % desarrollando otro tipo de actividad (Feng, Hu, Wang, Xu, & Qian, 2016). Dicho esto, es muy posible que las redes inalámbricas tengan que enfrentar una explosión por la falta de capacidad. El espectro de ondas milimétricas permite básicamente las comunicaciones a cortas distancias, pero a grandes velocidades en interiores y exteriores.

Esto ha llevado a explorar el nuevo espectro, las tendencias de la tecnología y las nuevas arquitecturas que se pueden implementar para compensar esta demanda de capacidad y requerimientos de altas tasas de datos que se dará en un futuro.

VLC también llamada comunicación inalámbrica óptica (OWC), asimismo es una tecnología viable para redes de 5ta generación que se ha empleado en transmisión de datos para interiores y exteriores. Sus aplicaciones más relevantes van desde Li-Fi, ubicación en exteriores, comunicación de dispositivo a dispositivo, aplicaciones para entornos sensibles a determinadas circunstancias electromagnéticas, etc.

En este artículo, se considera principalmente la comparación de mmWave con VLC como tecnologías principales a implementar en redes 5G, las razones del por qué implementar Li-Fi en 5G y las ventajas que representan esta implementación.

DESARROLLO

Definición de VLC

Las comunicaciones por luz visible (VLC) consiste en la transmisión de datos a través del espectro que es visible. Es una tecnología que ha sido un gran campo de estudio en los últimos años para proveer un camino a seguir en la saturación del espectro de radio frecuencia (Haas, Yin, Wang, & Chen, 2015).

Básicamente VLC se ha desarrollado gracias a la tecnología LED (Light-Emitting Diode), que se encuentran sustituyendo a las lámparas tradicionales. La tecnología LED tiene una capacidad de conmutación, que aparte de cumplir su función que es la de proveer iluminación en distintos ambientes ahora también permita transmitir datos a través de los

dispositivos. Encendiéndolos y apagándolos a velocidades que no son visibles para el ojo humano (Haas, Yin, Wang, & Chen, 2015) (Peñafiel Peñafiel, 2015).

Definición de Li-Fi

Li-Fi significa Light Fidelity en inglés, o lo que sería lo mismo en español Fidelidad de la Luz, este sistema no emplea ondas electromagnéticas de radio como el Wi-Fi o el Bluetooth, sino que es un sistema de comunicación inalámbrica que emplea luz (Saini, 2016).

En esta tecnología los datos son enviados por medio de diodos emisores de luz (LED) y recibidos a través de un sensor (Saini, 2016). El Profesor Harald Haas, de la Universidad de Edimburgo fue quien la creó, y la expuso al mundo durante una presentación dictada en una conferencia (Pushpendra Verma, 2015). Esta tecnología se puede utilizar en cualquier lugar y no requiere el uso del espectro electromagnético, por lo que es una gran alternativa a las comunicaciones por radio (Pushpendra Verma, 2015).

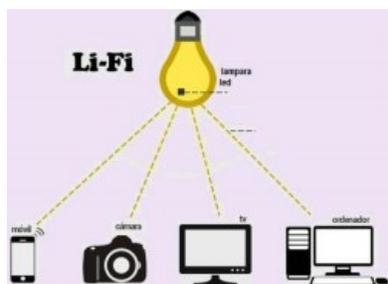


Ilustración 1 Comunicación mediante Li-Fi.

Autor: Asale

Para entender mejor esta tecnología, la imagen de la ilustración 1 posee una bombilla que contiene un chip emisor que emite señales, las cuales van a ser recibidas por los diferentes dispositivos que tengan la capacidad de captar ondas Li-Fi (Pushpendra Verma, 2015).

Funcionamiento de Li-Fi

Su funcionamiento está basado en el control del brillo de uno o varios diodos led, que para transmitir información se apagan y se encienden. Esta tecnología se percibe como una iluminación continua, debido a que trabaja a una frecuencia lo suficientemente alta, gracias a que el ojo humano tiene una propiedad de persistencia. El receptor, detecta la intensidad de la luz del led del transmisor porque utiliza un fotodiodo sensible a la frecuencia elegida (Bermeo Sarmiento Santiago Hernán, 2016).

Con el desarrollo de las tecnologías de semiconductores en los últimos años, se ha llegado a una de las principales motivaciones de que en un futuro la iluminación tradicional será reemplazada por la iluminación mediante leds en más instalaciones. Lo que permitirá encontrar leds de suficiente luminosidad y capaces de lograr alcanzar altas velocidades de conmutación, a un precio considerable (Moussa Ayyash, 2016).

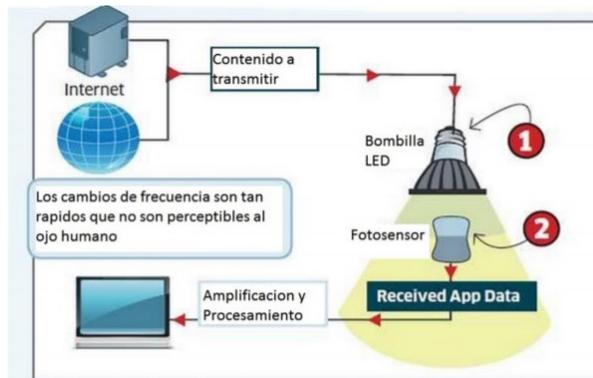


Ilustración 2 Secuencia detallada del funcionamiento de Li-Fi.

Autor: ITSitio.

Aplicaciones de LI-FI

Las aplicaciones de Li-Fi se describen a continuación:

Campo médico: Durante mucho tiempo, la tecnología médica se ha quedado atrás del resto del mundo inalámbrico. Los quirófanos no pueden permitir problemas de conectividad y de radiación causada por Wi-Fi. Las señales de equipos de monitoreo pueden verse afectadas por la interferencia de los teléfonos celulares y las computadoras conectados mediante la tecnología Wi-Fi instalada en muchos hospitales. Li-Fi resuelve todos estos problemas: las luces en los quirófanos son esenciales, no causan ninguna molestia y a su vez ayudan a la transferencia de información médica (Ekta, 2014).

Sistemas educativos: La tecnología LIFI, ofrece un servicio de acceso a Internet de mayor velocidad (Ekta, 2014). Por lo tanto, que esto conducirá a la sustitución de WIFI en las instituciones y en empresas para que todas las personas puedan hacer uso de LIFI con misma velocidad prevista en un área particular (Ekta, 2014).

Reducción en los números de accidentes: En las señales de tráfico, podemos usar LIFI para comunicarnos con luces LED de los autos y el número de accidentes puede ser reducido. Los datos se pueden transferir fácilmente mediante el uso de Li-Fi en lámparas con farolas (Ekta, 2014).

Aerolíneas: El uso de Wi-Fi en las aerolíneas actualmente es muy recurrente y hace que el público cautivo tenga que pagar por el "servicio" para tener una velocidad de acceso telefónico en el avión. Una mejora que ofrecerán las aerolíneas a los pasajeros es una conexión de "alta velocidad". Se planea velocidades de hasta 9.8 Mbps por avión. Li-Fi podría fácilmente brindar este tipo de velocidad en la luz de lectura de cada asiento (Ekta, 2014).

Increíbles submarinos: Los ROV subacuáticos son un tipo de submarinos que se operan desde grandes cables que les proporcionan el poder para navegar y les permite recibir señales de sus pilotos que están encima.

Los ROV tienen un muy buen funcionamiento, excepto cuando la correa se atasca con algo o no es lo suficientemente larga como para explorar un área. Si sus cables fueran reemplazados por luz con Li-Fi, por ejemplo, una lámpara sumergida de alta potencia, entonces tendrían la facilidad de explorar mucho más.

También podrían usar sus faros para comunicarse entre sí, procesar datos de forma autónoma y describir los hallazgos periódicamente a la superficie, todo esto mientras obtienen su próximo lote de pedidos (Ekta, 2014).

Consumo de energía significativamente menor: Los mástiles de radio son muy ineficientes y requieren grandes cantidades de energía para transmitir y, en algunos casos, requieren mantenerlos lo suficientemente frescos para operar. Los LED por otro lado usan muy poca potencia (mucho menos que una bombilla fluorescente), lo que significa que Li-Fi también usa muy poco poder. Al mismo tiempo, Li-Fi también puede iluminar una habitación, lo que significa que puede hacer dos trabajos por el precio de uno (Ekta, 2014).

Comparación de mmWave con VLC en redes 5G

Las comunicaciones por luz visible comparadas con las comunicaciones de ondas milimétricas, muestran ventajas similares; como el espectro abundante, la capacidad de transmisión a velocidades de Gbps, seguridad en la comunicación, la reutilización espacial, bajas tasas de interferencia en comunicaciones entre áreas externas e internas, etc.

Por otro lado, también comparten desventajas similares; como la susceptibilidad al bloqueo y la exigencia de tener línea de vista. Sin embargo, existen factores determinantes que permiten asegurar que VLC es la tecnología más conveniente para usos en interiores y como un complemento idóneo en las comunicaciones en redes 5ta generación.

Espectro	Licencia	Seguridad	Consumo	Costo	Rango
----------	----------	-----------	---------	-------	-------

de energía						
mmWave	3–300GHz	Parcialment e gratis	Media	Alto	Alto	100–200m
VLC	385-790THz	Gratis	Alta	Bajo	Bajo	<10 m

Tabla 1 Comparación de mmWave con VLC en redes 5G

Autor: (Feng, Hu, Wang, Xu, & Qian, 2016)

Por lo tanto, la comunicación de ondas milimétricas no presenta ventaja alguna sobre VLC en la transmisión de datos en interiores, donde la comunicación se reduce a unos pocos metros de distancia.

Perspectiva de redes de quinta generación

Antes de discutir acerca de las redes de quinta generación, es necesario tener presente las redes anteriores; la tercera generación de redes y servicios, en su momento, llegó a ofrecer mejores oportunidades en cuanto al tipo de aplicaciones multimedia y servicios que se ajustaban a las necesidades de calidad de comunicaciones para usuario final. Las partes principales de los estándares estaban alineadas y los servicio 3G iniciaban, pero mientras ocurría la evolución 3G, algunos operadores seguían implementando soluciones interinas 2.5 G por un periodo de tiempo (Andrés Alexander Rodríguez-Fonseca, 2017).

Información relevante estima que el rango de frecuencias de trabajo para redes de quinta generación estará por el orden de los 300 GHz como límite, integrándose en los pronósticos el umbral de frecuencias de las redes Li-Fi; adicionalmente, el aumento de la cantidad de dispositivos de interacción y aplicaciones de contenidos multimedia, permiten plantear para estas redes velocidades acorde con el ancho de banda planteado, es decir, por el orden de los GBps para los usuario finales, con requerimientos de baja latencia y eficiencia en el tiempo de uso de los equipos. Este parámetro de latencia pasa a ser uno de los más importantes para el planteamiento de calidad de servicio en las redes Li-Fi (Andrés Alexander Rodríguez-Fonseca, 2017).

Los patrones de direccionamiento se están adicionando por el incremento de dispositivos de internet de las cosas; esto se está presentando en los estándares para redes celulares. Es aquí donde la interoperabilidad e intercambio de información entre aplicaciones exigen cambios importantes en las tecnologías; además, la estructura rígida de los modelos de datos está migrando hacia modelos dinámicos con las necesidades del mercado y usuarios. Otras áreas de estandarización en las que se observa un interés pronunciado, corresponden a la seguridad para IoT y conectividad para áreas amplias con baja potencia; se clasifican de esta manera cuatro grandes tópicos en los que la investigación exige una migración hacia estándares: networking incluyendo 5G, interoperabilidad semántica, seguridad y

conectividad para áreas amplias con baja potencia (Andrés Alexander Rodríguez-Fonseca, 2017).

Li-Fi y 5G

Las comunicaciones inalámbricas RF han sido utilizadas actualmente por su buena cobertura. Sin embargo, el incremento de usuarios y dispositivos, el aumento del tráfico, los requerimientos de altas velocidades de datos, la saturación del espectro de radiofrecuencia y una mayor demanda del ancho de banda, han sido razones suficientes para implementar nuevas soluciones con indicadores claves de rendimiento para 5G (Dorigo, Kivshar, & Yeh, 2017).

La tecnología Li-Fi ofrece mejoras de rendimiento que no sólo están dirigidos a las propuestas de 5G, sino también, debido al uso omnipresente de LEDs, proporcionará una infraestructura para la tecnología emergente IoT (Dorigo, Kivshar, & Yeh, 2017) (Hurtado Pérez, 2018).

Ventajas de Li-Fi en las comunicaciones 5G

Li-Fi presenta diversos indicadores que están dirigidos al rendimiento de las comunicaciones 5G.

Celdas de tamaño pequeño: Las celdas de Li-Fi son utilizadas como puntos de acceso para la comunicación de datos y de la iluminación, estos se encuentran distribuidas de manera que proporcionen iluminación adecuada para los usuarios. La disminución del área de la celda permite mejorar la eficiencia espectral proporcionando conexión inalámbrica totalmente en red a multiusuarios, aumentando su capacidad por unidad de área; los cuales son objetivos de rendimiento de las comunicaciones 5G (Hurtado Pérez, 2018).

Densidad de usuarios y dispositivos: Li-Fi está calificado para solucionar problemas de aumento de dispositivos y de usuarios, así como lo prevén las redes 5G y la tecnología IoT, utilizando su gran ancho de banda, bajo consumo de energía y su implementación de bajo costo. permitirán abordar la densidad de usuarios y dispositivos (Hurtado Pérez, 2018).

Eficiencia: Debido al amplio uso de iluminación inteligente en hogares, oficinas y alumbrado público por la eficiencia energética de los LEDs, se puede decir que hay una estrecha relación entre la iluminación inteligente con Li-Fi. El LED permite el despliegue de celdas Li-Fi y consecuentemente brindan iluminación. Por lo tanto, la implementación de luminarias LEDs pueden ofrecer los beneficios de Li-Fi y combinar con el consumo de energía de la iluminación (Hurtado Pérez, 2018).

Alta velocidad de transmisión: Un factor clave de las comunicaciones 5G es la velocidad, que es alrededor de 100 Mbps y la velocidad pico 10 Gbps para 2020. Estos factores pueden ser cumplidos con la tecnología Li-Fi por sus altas velocidades de datos (Binh & Hung, 2016).

Espectro no regulado: El espectro radioeléctrico es limitado, menor a 300 GHz y en algún momento se terminará. El espectro de luz visible que utiliza Li-Fi permite tener un ancho de banda virtualmente ilimitado de aproximadamente 100 000 000 GHz, es decir, 1000 veces mayor que la usada en las comunicaciones de radio frecuencia (Paternina & Salcedo, 2017). Este espectro visible no es regulado (sin licencia) y está disponible para su utilización inmediata. Por lo que es una de las ventajas más pronunciadas de Li-Fi frente a otras comunicaciones inalámbricas, ya que podría solucionar los problemas pronosticados de saturación del espectro por la tecnología IoT y las redes 5G (Paternina & Salcedo, 2017).

Densidad de datos: Li-Fi puede alcanzar aproximadamente 1000 veces la densidad de datos de Wi-Fi que ofrece más datos por metro cuadrado. Este es un factor importante para la eficiencia inalámbrica (Feng, Hu, Wang, Xu, & Qian, 2016).

Energía positiva: Es posible reutilizar parte de la energía óptica enviada para la comunicación de datos para cargar una batería y lograr independencia energética, de esa manera, Li-Fi podría formar parte del gran mercado de IoT (Jiang, y otros, 2015).

Económico: Para que un sistema Li-Fi se comercialice, solamente hace falta una fuente de datos que emita luz y un receptor con un sensor. La instalación del emisor es igual que la instalación de la luz. El coste de la instalación y de los LEDs permite que el sistema Li-Fi sea económico (Jiang, y otros, 2015).

Seguridad inherente: Li-Fi ofrece una seguridad intrínseca, debido a que la luz no puede traspasar paredes o techos, lo cual, permite reutilizar la misma frecuencia en la habitación contigua. Además, la radiación óptica no interfiere con otras ondas electromagnéticas o con el funcionamiento de equipos electrónicos sensibles. Por último, la luz se propaga a través del agua, entonces Li-Fi se puede emplear para la comunicación subacuática (Jiang, y otros, 2015).

Localización: En Li-Fi el área de iluminación permite al usuario reconocer un área de comunicación, a diferencia de la comunicación inalámbrica RF, donde se necesitan herramientas especializadas para encontrar el área de cobertura. Por lo tanto, la presencia de un área de cobertura Li-Fi se podrá fácilmente detectar y ofrecer un sistema de medición de localización muy preciso con un identificador de LED único (LED id). Esto es posible para un equipo o una persona que se encuentra en su área de iluminación (Feng, Hu, Wang, Xu, & Qian, 2016).

Seguridad humana: Li-Fi se adhiere a las normas aplicables de seguridad ocular de acuerdo con la norma BS EN 62471:2008 para la seguridad fotobiológica de las lámparas y sistemas de lámparas (Feng, Hu, Wang, Xu, & Qian, 2016).

Iluminación inteligente: Cualquier iluminación pública o privada, incluidas las farolas, se puede usar para proporcionar puntos de acceso Li-Fi, y la misma infraestructura de comunicaciones se puede usar para monitorear y controlar la iluminación y los datos (Tsonev, Videv, & Haas, 2014).

CONCLUSIONES

Muchos estudios han demostrado que las redes 5G van a ser la tecnología que más aporte al alcance de una gran cobertura de red y eficiencia energética en la red. Actualmente los usuarios pasan más tiempo realizando actividades en interiores que en exteriores, causando un problema de falta de capacidad de la red interna. Una alternativa de solución a ello es Li-Fi, que puede solucionar ese problema debido a su gran capacidad de transmisión, siendo ideal para ambientes internos.

Hasta ahora, por su cobertura lo más utilizado han sido las redes por radiofrecuencia, sin embargo, están teniendo dificultades en cuanto al crecimiento de usuarios, el tráfico excesivo y la saturación del espectro de radiofrecuencia. Esto provoca que se tengan que buscar otras alternativas como Li-Fi, que es una red con gran capacidad de la cual no hay que preocuparse por la utilización del espectro radioeléctrico.

El espectro radioeléctrico es un recurso limitado que en algún momento se terminará, para ello la solución más conveniente es usar la tecnología Li-Fi que tiene un ancho de banda virtual ilimitado.

El uso de la tecnología crece cada día más, y de igual manera la cantidad de usuarios. Esto provoca la saturación de las redes; los usuarios cada vez quieren mayor capacidad, mayor velocidad de transmisión y sin tener que pagar más por este servicio. La tecnología de 5ta generación es el camino más viable para poder cumplir con todos estos requerimientos de hoy en día.

Además de lo dicho anteriormente, la mayoría de los usuarios utiliza la tecnología en interiores y es aquí donde Li-Fi en conjunto con la tecnología de 5ta generación puede solventar estos servicios, puesto que es la más idónea para comunicaciones de corto alcance.

Se podría pensar que lo más fácil serían las redes por radiofrecuencia, que actualmente son las que se utilizan. Pero por lo expresado anteriormente con respecto a la saturación de las redes por la cantidad de dispositivos y usuarios, muy pronto este servicio será limitado en cuanto al espectro de radiofrecuencia, ya que este es un recurso limitado.

La comunicación de luz visible es una prometedora tecnología complementaria para comunicarse mediante las células pequeñas y cumplir con el requisito de capacidad de 5ta generación que cada vez es mayor.

Los sistemas de 5ta generación con respecto a redes Li-Fi tienen gran posibilidad de ser objeto de desarrollo e investigación. Esto debido a que las perspectivas mundiales tienden a crecer enormemente en el tráfico multimedia en la transmisión de datos móviles.

Los sistemas de 5ta generación alcanzan grandes velocidades de transmisión mediante la tecnología Li-Fi, puesto que el proceso de transmisión se realiza mediante haces de luz que permiten alcanzar velocidades de 100 Mbps

La calidad de servicio para las redes ópticas, dan posibilidades de mejorar los procesos que se desarrollan sobre redes 4ta generación, siendo esto un punto de partida para satisfacer los requerimientos en las redes Li-Fi aplicadas en entornos de 5ta generación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrés Alexander Rodríguez-Fonseca, J. M.-D.-P. (2017). Evaluation of QoS in RF/Li-Fi hybrid networks on 5th. *Revista Facultad de Ingeniería*, 26(46), 141-154.
- Bermeo Sarmiento Santiago Hernán, F. C. (2016). *TECNOLOGÍA LI-FI*. Recuperado el 08 de 2018, de http://www.academia.edu/27322762/Tecnología_Li-Fi
- Binh, P., & Hung, N. (9 de Junio de 2016). Comunicaciones de luz visible de alta velocidad con diodo emisor de luz blanca basado en ZnSe. *IEEE Photonics Technology Letters*, 28(18), 1948 - 1951. doi:10.1109 / LPT.2016.2578964
- Dorigo, T., Kivshar, Y., & Yeh, N.-C. (Noviembre de 2017). LiFi is a paradigm-shifting 5G technology . *Review in Physics*, 2, 26-31.
- Ekta, R. K. (2014). Light Fidelity (LI-FI)-A Comprehensive Study. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(4), 475 – 481.
- Feng, L., Hu, R., Wang, J., Xu, P., & Qian, Y. (20 de Octubre de 2016). Applying VLC in 5G Networks: Architectures and Key Technologies. *IEEE Network*, 30(6), 77-83. doi:10.1109 / MNET.2016.1500236RP
- Haas, H., Yin, L., Wang, Y., & Chen, C. (17 de Diciembre de 2015). What is LiFi? *Journal of Lightwave Technology*, 34(6), 1533 - 1544. doi:10.1109 / JLT.2015.2510021
- Hurtado Pérez, E. (Febrero de 2018). *Repositorio Digital de la Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19266>

- Jiang, J., Huo, Y., Jin, F., Zhang, P., Wang, Z., Xu, Z., . . . Hanzo, L. (29 de Diciembre de 2015). Video Streaming in the Multiuser Indoor Visible Light Downlink. *Acceso IEEE*, 3, 2959 - 2986. doi:10.1109 / ACCESS.2015.2513010
- Moussa Ayyash, H. E. (2016). *Coexistence of WiFi and LiFi towards 5G*:. Recuperado el 08 de 2018, de Coexistence of WiFi and LiFi towards 5G:
- Paternina, J. M., & Salcedo, O. (2017). Esquemas de calidad de Servicio en Redes Li-Fi enfocados en ambientes de Quinta Generación. *Redes de Ingeniería*, 8(1), 18-28.
- Peñafiel Peñafiel, J. E. (Febrero de 2015). *Repositorio Digital de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7770/1/UPS-CT004629.pdf>
- Pushpendra Verma, D. J. (2015). Light-Fidelity (Li-Fi): Transmission of Data through Light of Future Technology. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 4(9), 113-124.
- Saini, H. (2016). LI-FI (LIGHT FIDELITY)-THE FUTURE TECHNOLOGY IN. *Journal of Computer Application*, 7(1), 13-15. Obtenido de <https://www.akgec.in/journals/JCA/jan-Jun-2016.pdf#page=13>
- Tsonev, D., Videv, S., & Haas, H. (2014). La Sociedad Internacional de Ingeniería Óptica . En 9. 02 (Ed.), *Light Fidelity (Li-Fi): Towards All-Optical Networking, 9007*, pág. 9007 02. San Francisco. doi:10.1117 / 12.2044649