

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR**

FACULTAD DE INGENIERÍA



**MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
MENCIÓN REDES DE COMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:

**MÁSTER EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN
REDES DE COMUNICACIONES**

“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD SOBRE EL USO DE LA
TECNOLOGÍA LI-FI COMO UN COMPLEMENTO A LAS
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS YA EXISTENTES EN
ECUADOR”

AUTOR: MONTALVO AGUILAR PABLO ANDRÉS

**DIRECTOR: ING. JUAN FRANCISCO CHAFLA ALTAMIRANO,
MSc.**

QUITO, 2023

DECLARACIÓN

Yo, Pablo Andrés Montalvo Aguilar, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Pablo Andrés Montalvo Aguilar

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pablo Andrés Montalvo Aguilar, bajo mi supervisión.

Ing. Juan Francisco Chafla Altamirano, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Me gustaría dedicar el presente trabajo de titulación principalmente a mis padres, quienes son las personas que me dieron la vida y las personas que cada día me dan apoyo incondicional. También me gustaría dedicar esto a mi hermano y hermana que siempre han estado ahí, siempre me han apoyado y siempre puedo recurrir a ellos para pedirles consejo.

Pablo

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer especialmente a mis padres, quienes se han esforzado cada día para poder brindarme la educación, quienes siempre serán mis modelos a seguir y quienes me han apoyado para de este modo poder continuar con mis estudios. También quiero agradecer a mis abuelos quienes son la razón que me motiva a seguir adelante, agradecer también a mis hermanos por siempre estar a mi lado.

Finalmente, agradecer a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por formarme como un profesional con excelentes valores y principios.

Pablo

TABLA DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN	ii
CERTIFICACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
OBJETIVOS	5
CAPITULO I	6
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
1.1. Redes Inalámbricas	6
1.2. Tecnologías inalámbricas	6
1.2.1. Redes inalámbricas de área personal (WPAN)	7
1.2.2. Redes inalámbricas de área local (WLAN)	7
1.2.2.1. Arquitectura de WLAN	8
1.2.2.2. Tecnología Wi-Fi.....	9
1.2.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)	9
1.2.4. Redes inalámbricas de área amplia (WWAN).....	10
1.3. Estándar IEEE 802.11	10
1.4. Comunicaciones mediante luz visible (VLC)	11
1.4.1. Antecedentes	11
1.4.2. Evolución de las VLC	12

1.5. Tecnología Li-Fi (Light Fidelity)	13
1.5.1. El estándar IEEE802.15.7	14
1.5.2. Topologías de Red	15
1.5.3. Arquitectura de un dispositivo IEEE 802.15.7	15
1.5.4. Control de atenuación	17
1.5.5. Modelo PHY I	17
1.5.6. Modelo PHY II	18
1.5.7. Modelo PHY III	18
1.5.7. Ventajas de la tecnología Li-Fi	18
1.5.8. Limitaciones de la tecnología Li-Fi	19
1.5.9. Li-Fi en relación con el medio ambiente	20
CAPITULO II	21
2. ASPECTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES DE LI-FI	21
2.1. Componentes principales de un sistema VLC	21
2.1.1. Métodos de modulación	22
2.1.1.1. VPPM (Variable Pulse Position Modulation).....	22
2.1.1.2. DM (Orthogonal Frequency Division Multiplex)	22
2.1.1.3. PWM (Pulse Width Modulation)	23
2.1.1.4. CSK (Colour Shift Keying).....	23
2.1.1.5. OOK (On-Off Keying).....	24
2.2. Diseño de una red Li-Fi	25
2.3. Funcionamiento de la Tecnología Li-Fi	25
2.4. Principales parámetros que poseen las ondas Li-Fi	26
2.4.1. Transmisión.....	26
2.4.2. Propagación	26
2.4.2.1. Reflexión	27
2.4.2.2. Difracción	27
2.4.2.3. Refracción.....	27
2.4.2.4. Absorción.....	27
2.4.2.5. Atenuación.....	27
2.4.2.6. Dispersión	28

2.5. Seguridad en los sistemas Li-Fi	28
2.6. Principales empresas y dispositivos Li-Fi	28
2.6.1. PureLiFi.....	28
2.6.1.1. Antena de luz ONE™	29
2.6.1.2. Cubo LiFi™	29
2.6.1.3. LiFi-XC™	30
2.6.2. Global LIFI Tech.....	31
2.6.2.1. LIFIMAX®	31
2.6.2.2. Kit GEOLiFi®	32
2.6.3. Oledcomm.....	32
CAPÍTULO III	34
3. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LI-FI EN ECUADOR.....	34
3.1. Análisis de datos	34
3.1.1. Metodología aplicada	34
3.1.1.1. Definición para la búsqueda.....	35
3.1.1.1.1. Preguntas de Investigación	35
3.1.1.1.2. Alcance de la revisión	35
3.1.1.1.3. Criterios de inclusión y exclusión	36
3.1.1.1.4. Conducta de búsqueda	36
3.1.1.2. Ejecución de la revisión	36
3.1.1.3. Discusión de Resultados.....	37
3.1.1.3.1. Esquema de caracterización	37
3.1.1.3.2. Análisis general.....	38
3.1.1.3.3. Análisis de resultados	38
3.2. Conclusiones	40
3.3. Recomendaciones	40
BIBLIOGRAFÍA.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de las redes inalámbricas	7
Figura 2. Redes inalámbricas WMAN	10
Figura 3. Funcionamiento de la tecnología Li-Fi	14
Figura 4. Tipos de topología de red	15
Figura 5. Arquitectura IEEE 802.15.7	17
Figura 6. Esquema de un sistema básico de VLC.	21
Figura 7. Esquema de modulaciones RZ-OOK y VPPM.	22
Figura 8. Área de componentes en el espacio CIE XY 1964.....	24
Figura 9. Modulación OOK	24
Figura 10. Diseño de red Li-Fi	25
Figura 11. Funcionamiento de la tecnología Li-Fi	26
Figura 12. Antena de luz ONE™	29
Figura 13. Cubo LiFi	30
Figura 14. LiFi-XC.....	31
Figura 15. LIFIMAX.....	31
Figura 16. Kit GEOLiFi.....	32
Figura 17. Diagrama de mapeo sistemático.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estándares IEEE 802.11	11
Tabla 2. Características de la antena de luz ONE™	29
Tabla 3. Características LiFi-XC	30
Tabla 4. Características LiFi-XC	32
Tabla 5. Esquema de caracterización de los estudios primarios	37

RESUMEN

La tecnología de luz visible, también denominada Li-Fi (Light Fidelity), consiste en un modelo de red de tipo inalámbrica que se aprovecha de las fuentes de luz para reemplazar a las señales del tipo microondas para la transferencia de datos. Se basa en comunicación óptica inalámbrica a través de un sistema de luz LED y alcanza velocidades de unos 224 Gbps aproximadamente; Sin embargo, actualmente no es muy conocida comercialmente (Benalcázar et al., 2020).

Entre las ventajas destaca la convergencia con diversas tecnologías actuales, como el Internet de las Cosas (IoT), lo que implica varios cambios en las bases de la información. Así mismo, supera al Wi-Fi respecto a seguridad, velocidad, transmisión de datos y conservación energética, pero no constituye un reemplazo sino un complemento, pues Li-Fi es ideal en cuanto a espacios cerrados se refiere, mientras que en espacios abiertos Wi-Fi resulta notablemente superior.

En ese sentido, la implementación del servicio de internet por medio de Li-Fi en los sectores rurales permitiría que la población se beneficie de una conexión de banda ancha rápida, a bajo costo y con amplia variedad de servicios de telecomunicaciones. Por esa razón, se busca identificar qué tan viable resulta implementar esta tecnología en Ecuador y las ventajas y limitaciones que su aplicación puede presentar.

INTRODUCCIÓN

En la siguiente investigación se postula como objetivo principal estudiar la viabilidad que puede representar el emplear la tecnología Li-Fi como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador, ya que permite la transmisión de información a diversos dispositivos electrónicos por medio de la luz led.

El estudio se encuentra clasificado en tres capítulos: Una vez que se aborda el primer capítulo se encontrara todo lo relacionado con la fundamentación teórica: tipos de redes inalámbricas, funcionamiento, historia, ventajas y limitaciones de la tecnología Li-Fi. En el segundo capítulo se expone a profundidad aspectos técnicos y comerciales necesarios para su implementación. Por último, el capítulo tres consiste en el análisis de la información recabada de estudios previos realizados en Ecuador para establecer la posibilidad de utilizar Li-Fi como complemento a otras tecnologías inalámbricas. Por su puesto, al finalizar se detallan las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

JUSTIFICACIÓN

El avance tecnológico es inminente y continuo a todo nivel, pues cada vez se impulsan mejoras y nuevas opciones que sustituyen a otros productos en términos de tecnología, medio ambiente, moneda, funcionamiento, etc. Por su puesto, las redes inalámbricas no son la excepción, en vista de que la creciente cantidad de usuarios y la dinámica social demanda de ellas mayor seguridad y eficiencia, lo que conlleva a buscar alternativas para optimizar los mecanismos ya existentes e incluso plantear opciones complementarias.

En ese sentido, Li-Fi como tecnología en desarrollo supone una innovación en lo que tiene que ver con las tecnologías inalámbricas, pero a ningún momento busca reemplazarlas sino complementarlas. Se caracteriza por transmitir información a diferentes dispositivos electrónicos mediante la luz led, gracias a su capacidad de percibir la energía luminosa y establecer una conexión con ella a tres metros de distancia con una velocidad de transferencia de datos de que puede llegar a 1 Gb por segundo. Además, ofrece varias ventajas en cuanto a seguridad, ahorro de energético, reducción del ruido visual, menor impacto medioambiente, etc.

Dadas las ventajas que acarrea consigo la tecnología Li-Fi, el presente estudio se enfoca en determinar si en Ecuador resulta viable actualmente implementarla como un recurso complementario a los sistemas inalámbricos, de tal modo que paulatinamente sea incorporada en los contextos que más los requieran. Por consiguiente, se consolida también un documento que sirve de medio de información para personas interesadas en el tema y como base para futuros trabajos relacionados.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La competencia a todos los niveles en el mundo es cada vez más feroz, sobre todo en el aspecto tecnológico que marca la pauta de comportamiento de las sociedades de todos los países. Hoy en día, las personas requieren mantenerse conectadas al servicio de internet desde diversos dispositivos, por lo que es necesario potenciar siempre las tecnologías que hacen posible esa conexión y que hasta el momento utilizan los protocolos de radio 802.11, conocida popularmente como Wi-Fi. Las bandas de frecuencias libres que utilizan son 2,4 GHz y 5 GHz, mediante las que abastecen toda la demanda de conexión que mayormente es por medio de aparatos móviles (Pisco, 2018).

En contra posición del tipo de redes que se transmiten mediante cable, las redes inalámbricas son sumamente susceptibles interferencias, pues las señales se desplazan libremente por el mismo medio, lo que desencadena a momentos en colisiones que afectan su calidad. Por consiguiente, a mayor distancia del AP (Access Point) al servicio de internet, mayor es el tiempo de descarga de datos. De ahí precisamente surge la necesidad de implementar tecnologías más robustas que aseguren un servicio óptimo, mayor estabilidad y seguridad (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones [ARCOTEL], 2020).

Por antes mencionado, es menester identificar qué tan factible resulta emplear Li-Fi como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador, conocer su evolución en el tiempo, la capacidad de implementación y el impacto que conlleva a nivel social, económico y tecnológico.

OBJETIVOS

Objetivo General

Analizar que tan factible es el uso de la tecnología Li-Fi como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador.

Objetivos Específicos

- Identificar los fundamentos teóricos relacionados con la tecnología Li-Fi como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador.
- Realizar un análisis a partir de la extracción, obtención y selección de los artículos relacionados con la tecnología Li-Fi, tanto en el aspecto técnico como comercial, y su factibilidad de uso como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes.
- Analizar los resultados de la información seleccionada sobre la tecnología Li-Fi como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador.

CAPITULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El capítulo aborda los conceptos fundamentales de las redes inalámbricas, con especial énfasis en la comunicación mediante luz visible (VLC), denominada tecnología Li-Fi. Se profundiza en las características, elementos, arquitectura, evolución y dispositivos necesarios para su funcionamiento, de tal modo que sea posible determinar la manera de emplearla como completo al Wi-Fi.

1.1. Redes Inalámbricas

Hoy en día, las redes del tipo inalámbricas emplean ondas de radio en los dispositivos (celulares, computadores, tabletas, entre otros) para de este modo poder establecer una conexión sin la necesidad de cables, por medio de un proceso de conversión de las señales de información emitidas. Entre las múltiples ventajas sobresale la conexión remota, aquella capacidad para enlazar aparatos que están a metros o incluso a kilómetros de distancia. No obstante, también acarrea una cierta limitante como es la regulación legal del espectro electromagnético, pues las ondas son propensas a interferencias; además, cada país cuenta con distintas regulaciones que definen la potencia en la que cada una de las tecnologías tiene permitido transmitir. Así como, los rangos de frecuencias aceptadas (Salazar, 2016).

Indiscutiblemente, el desarrollo tecnológico es el responsable de que la infraestructura de los sistemas de acceso inalámbrico sea cada vez más eficiente. En términos simples, los sistemas en mención son conexiones de radiocomunicaciones para redes centrales -públicas o privadas- de usuario final como por ejemplo sistemas celulares, de telecomunicaciones y redes inalámbricas de área local. Sin embargo, estas últimas son las más costosas de mantener y muy complejas de construir (Ramírez y Villanueva, 2008).

1.2. Tecnologías inalámbricas

Cuando se habla de redes de tipo inalámbricas, éstas se encuentran clasificadas en cuatro grupos que dependen del campo de aplicación y del

alcance de señal: redes inalámbricas de área personal (WPAN), de área local (WLAN), de área metropolitana (WMAN) y de área amplia (WWAN). Para mayor comprensión, la Figura 1 expone gráficamente el alcance de cada una.

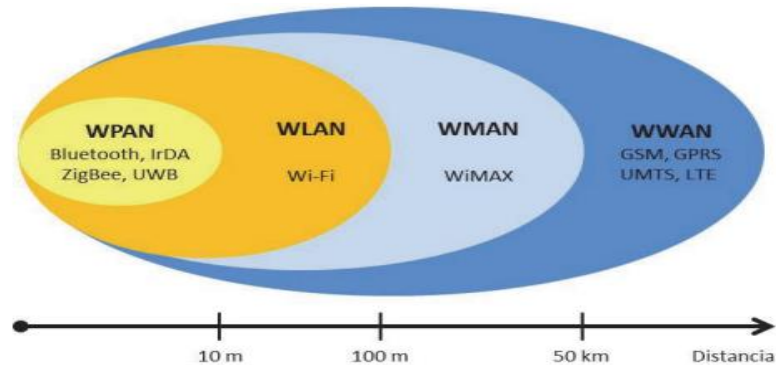


Figura 1. Clasificación de las redes inalámbricas

Fuente: Tomado de Salazar (2016).

1.2.1. Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

Consiste en una red de computadores que posibilitan la transmisión de datos entre varios dispositivos. Están comúnmente diseñadas para uso personal o cuando la distancia requerida para conectar los aparatos es de pocos metros, tal como ocurre en ciertas empresas o en aplicaciones publicitarias. Vale acotar que los estándares utilizados son Zigbee o Bluetooth (Herrera y Sanguano, 2013).

1.2.2. Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Se entiende como área local a la red que abarca un espacio limitado geográficamente, que posee una rapidez de transferencia de datos considerablemente elevada, entre 1 Mbps y 2 Mbps, pero con la HiperLAN2 alcanza hasta 108 Mbps. Además, la tasa de errores es baja y su administración se realiza de forma privada. En cuanto al estándar original de WLAN es el IEEE 802.11, aunque también usa Zigbee o Bluetooth (Herrera y Sanguano, 2013).

Las WLAN son empleadas para transmitir información en estructuras más grandes, como edificios, compañías, aeropuertos, entre otras, por medio de ondas electromagnéticas que se trasladan mediante un canal inalámbrico responsable de enlazar los equipos o terminales móviles a través de

microondas e infrarrojos. En las redes que son más comunes, los datos son enviados a través de cables coaxiales, fibra óptica o pares trenzados (López, s.f.).

Entre otros aspectos, se caracterizan porque permiten crear redes temporales para conciertos, seminarios, talleres y cualquier evento temporal en el que utilizar cables implicaría mayor tiempo y dinero. Ello es posible gracias al uso de ondas de radio que transmiten la información de una estación de trabajo a otra; por esa razón, es una alternativa fácil para extender una red que ya se encuentra cableada.

1.2.2.1. Arquitectura de WLAN

Generalmente, El modelo OSI es el principal foco en la mayor parte de los sistemas de comunicación. Y WLAN no es la excepción, pues también lo toma en cuenta en conjunto con el estándar IEEE 802.11. Por ese motivo, estas redes (a diferencia de las cableadas) utilizan solo dos capas: la física (*PhysicalPHY*), que es la responsable de definir propiedades de señalización utilizadas al transmitir datos y la modular las ondas de radio; la de enlace, que establece la interfaz entre la capa física y el bus del equipo. Al mismo tiempo, también se separa en dos subcapas: la de control de enlace lógico, que es la encargada de enlazar a la subcapa de control de acceso al medio (Media Access ControlMAC) con los datos que posee el modelo OSI.

Es importante señalar que en torno a los elementos que constituyen una parte de la arquitectura 802.11, todos ellos pueden llegar a pertenecer a una de las dos capas. Con respecto a la física, consiste en la interfaz entre la capa denominada MAC (capa de acceso al medio) y medio inalámbrico para la propagación de señales. Entre sus funciones se encuentra efectuar el intercambio de tramas con la MAC, transmitir las por el medio inalámbrico con base en esquemas de modulación y permitir la probabilidad a la MAC de saber si el medio se encuentra saturado (Ortiz, 2015).

Cabe indicar que la capa física de servicios presenta dos protocolos. Por un lado, la función de convergencia que adapta las funciones del sistema según el medio de datos (PMD), que se implementa mediante el protocolo PLCP (*Physic Layer Convergence Protocol*), que define el mapeo MPDUs (*MAC*

Protocol Data Units, unidades de datos MAC) en un modelo de tramas vulnerable a ser transmitido o recibido entre diferentes estaciones -STAS- mediante la capa PMD. Por otro lado, el sistema PMD encargado de definir las características de transmisión y recepción a través de un medio sin cables entre dos o más STAS (Cruz, 2019).

1.2.2.2. Tecnología Wi-Fi

Esta tecnología consiste en una aplicación de las redes WLAN que desde su origen ha experimentado una evolución significativa en varios aspectos: la velocidad al transmitir datos, el ancho de banda, la zona de servicios y la compatibilidad con otras versiones. Todo ello, así como el bajo costo de implementación, le ha permitido alcanzar un crecimiento exponencial en el mercado y posicionarse como una red muy utilizada en el día a día, pues ofrece interoperabilidad entre dispositivos de uso cotidiano como celulares, televisores inteligentes, laptops, tabletas, por nombrar unos cuantos.

Además, el hecho de que la red Wi-Fi esté alineada al estándar IEEE 802.11 constituye un puntal para ofrecer sistemas con elevadas tasas de transferencia y ancho de banda que sobrepasa los 40 MHz con tiempos de retardo bajos (Chango, 2022).

1.2.3. Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Las WMAN son sistemas que facilitan la conexión entre varios dispositivos localizados en un área metropolitana, y una de las principales ventajas es que se eliminan costos de instalación de enlaces de fibra o alquiler de líneas. Sus características incluyen transmisión y recepción de datos de alta velocidad mediante ondas de radio o luz infrarroja, así como los servicios de reparto multipunto locales (LMDS) y el servicio de distribución multipunto multicanal (MMDS) (Herrera y Sanguano, 2013). Para mayor entendimiento, la Figura 2 presenta un esquema.



Figura 2. Redes inalámbricas WMAN

Fuente: Tomado de Gaibor (2021).

1.2.4. Redes inalámbricas de área amplia (WWAN)

La *Wireless Wide Área Network* abarca una extensa cantidad de terreno para conectar redes públicas y privadas, particularidad que la convierte en la red con más amplio alcance y muy utilizada en celulares. Entre las tecnologías principales están: GPRS, GSM y UMTS (Herrera y Sanguano, 2013).

1.3. Estándar IEEE 802.11

Creado por el *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos* (IEEE), entidad que delimita el manejo de las dos capas inferiores pertenecientes a la arquitectura OSI (enlace de datos y física) y detalla sus normas de operación en una WLAN. IEEE constituye un instituto dedicado a la investigación y el desarrollo cuyo fin no es el lucro, cuyos miembros son profesionales y profesores de varios países, expertos en nuevas tecnologías.

IEEE 802.11 fue implementado por primera vez en 1997, pero se mantiene en constante cambio gracias a que los miembros de este organismo enfocan siempre esfuerzos por mejorarlo. Inicialmente, se convirtió en el estándar pionero para transferir información con una rapidez entre 1 Mbit/s y 2 Mbit/s y a una frecuencia de 2,4 GHz, aunque ello puede llegar a limitar la ejecución en el ámbito corporativo. Pero gracias a la gran acogida y al desarrollo de las tecnologías inalámbricas, se establecieron tres estándares derivados del origina (Gaibor, 2021). Las características y diferencias de cada uno son detalladas en la Tabla 1.

Tabla 1. Estándares IEEE 802.11

Estándar	Tasa de transmisión (Mbps)	Tasa de transmisión (Mbps)	Paquetes perdidos (%)	Paquetes transmitidos
802.11b	1.00	0.99	0	227
	2.00	1.99	0	453
	3.00	2.94	0.3	680
	4.00	3.89	8.4	906
	3.80	3.78	2.1	861
802.11g	1.00	0.99	0	227
	2.00	1.99	0	453
	4.00	3.99	0	906
	6.00	5.98	0.6	1359
	7.00	6.80	7.6	1586
	6.50	6.48	2.4	1472
802.11n	1.00	1.00	0	227
	3.00	2.99	0	680
	5.00	4.98	0	1133
	8.00	7.99	0	1812
	12.00	11.72	8.4	2718
	11.00	10.98	1.4	2491

IEEE 802.11g actúa en la banda de frecuencia de 2,4 GHz y brinda una rapidez de hasta 54 Mbps. En cambio, la velocidad de IEEE 802.11n asciende a 600 Mbps en conexiones con máximo de tres antenas y utiliza simultáneamente las bandas 2,4 GHz y 5 GHz. Además, es pionero en la implementación de la tecnología MIMO.

1.4. Comunicaciones mediante luz visible (VLC)

1.4.1. Antecedentes

La VLC utiliza una parte de luz del espectro electromagnético para transferir datos. Su origen data de 1880, cuando Alexander Graham Bell se adentró en

las transmisiones mediante luz visible, y es a quien precisamente se le atribuye la invención del primer teléfono (fotófono), pues logró realizar una transmisión inalámbrica a través de la luz.

A lo largo de los años, el progreso tecnológico ha dado paso a nuevas herramientas y dispositivos que utilizan este tipo de tecnología. Ejemplo de ello son los diodos emisores de luz, conocidos comúnmente como LED (por sus siglas en inglés), cuya intensidad varía hasta una velocidad mayor del parpadeo del ojo humano. Estos elementos utilizan el espectro de la luz para la transmisión de información, lo que en cierto modo ayuda a generar mayor libertad al espectro de radio frecuencia que se encuentra ya saturado (Peñañiel, 2015).

La tecnología LED empezó a investigarse en 1990 en Alemania, Corea y Japón para conocer sus diferentes variaciones como luz infrarroja, ultravioleta y visible, aunque con mayor enfoque en esta última, pues es la que permite transmitir datos. Así, desde 2003, varias investigaciones de Reino Unido, Estados y Japón se han concentrado en profundizar en el tema y buscar potenciar aquella dualidad de los LED: como fuente de iluminación y como recurso para transmitir datos.

1.4.2. Evolución de las VLC

VLC ofrece la libertad de transmitir datos a través de la luz visible mediante sistemas inalámbricos que poseen una elevada velocidad y con un espectro de frecuencia de entre 400 THz a 800 THz. Ciertamente, existen algunos recursos similares al VLC que pueden causar cierta confusión, por lo que se detallan sus diferencias a continuación:

- *Free Space Optical (FSO)*: utiliza la luz visible ultravioleta e infrarrojos para su aplicación.
- *Li-Fi*: suele emplearse para aplicaciones VLC de alta velocidad, en situaciones en donde el Wi-Fi también podría ser una opción, pero la diferencia está en que se va a transmitir por medio de la luz en lugar de transmitir por ondas radio.

- *Optical Wireless Communication (OWC)*: consiste en todo tipo de comunicación óptica inalámbrica como control remoto por infrarrojos, FSO, VLC o LiFi (Martínez, 2017).

1.5. Tecnología Li-Fi (Light Fidelity)

En 2010, el investigador de la Universidad de Edimburgo, Harald Haas, fundó el proyecto D-Light, y en 2011 empezó a desarrollar Li-Fi de manera comercial. Más tarde ese año, un grupo diverso de científicos y empresas constituyeron el Consorcio Li-Fi para potenciar esta nueva tecnología inalámbrica.

Li-Fi transmite en codificación binaria: si el LED está encendido, el valor es uno; si está apagado, el valor es cero. Esta estructura requiere básicamente de dos elementos para la transmisión de datos: el transmisor, luz LED que posee el elemento modulador que proporciona un código del tipo binario, que es el indispensable para la transmisión de información; y un receptor, que posee el fotodetector que se encarga de decodifica, modula la señal recibida, la amplifica y la procesa en la unidad que contiene al receptor.

En términos de mensajería, se logran velocidades de transferencia de datos de cientos de megabits por segundo simplemente haciendo parpadear un LED varias veces o utilizando una matriz de LED de diferentes colores (Naranjo y Casillas, 2016), tal como se puede apreciar en la Figura 3.

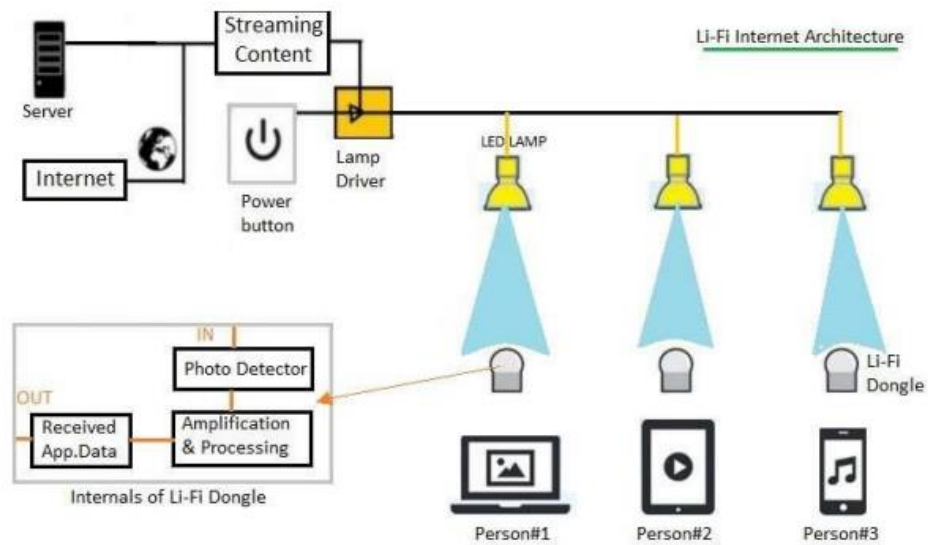


Figura 3. Funcionamiento de la tecnología Li-Fi

Fuente: Tomado de Naranjo y Peña (2016).

Li-Fi se basa en los principios del método VLC, que utiliza el espectro electromagnético de 400 THz a 800 THz, proporcionando múltiples accesos desde una única fuente de luz y manteniendo la movilidad a través de las luces sin la pérdida de conexión.

1.5.1. El estándar IEEE802.15.7

Este proporciona la normativa para la comunicación óptica de manera inalámbricas de poco alcance fundamentada en luz visible y que usen el espacio libre como medio de propagación. De ahí se establecen precisamente las capas antes mencionadas: la física (PHY) y la de control de acceso al medio (MAC). Ambas facilitan velocidades de datos desde los 11Kbps hasta los 96 Mbps, bajo esquemas de modulación OOK, VPPM y CSK, y son suficientes para soportar servicios de comunicación multimedia y movilidad, así como para lograr compatibilidad con infraestructuras de iluminación. Por consiguiente, cumplen además con las normativas vigentes ejecutables alrededor de la seguridad ocular.

1.5.2. Topologías de Red

Existen tres topologías de red:

- Estrella: se conecta a un punto central y permite intercambiar información indirectamente.
- Peer-to-peer: resiste el enlace entre sistemas por lo general dos. Donde uno de ellos esta destinado a emplearse como organizador.
- Difusión: un dispositivo funciona como organizador, pues se ocupa de mandar la señal manera unidireccional hacia los demás.

Las tres topologías favorecen la visibilidad con el objetivo de que la labor de iluminación pueda mantenerse operativa sin necesidad de la comunicación (Boada y Ulco, 2022).



Figura 4. Tipos de topología de red

Fuente: Tomado de Boada y Ulco (2016).

1.5.3. Arquitectura de un dispositivo IEEE 802.15.7

La arquitectura que rige a esta normativa se fundamenta en las capas PHY y MAC. Sin embargo, hay otros elementos y subcapas que hacen posible el funcionamiento completo:

- **Capa PHY:** la capa denominada física es responsable de proporcionar interconexión entre la MAC y los canales ópticos. Así mismo, proporciona servicios de datos a los que se puede llegar mediante el PD-SAP (*PHY Data Service Access Point*) y los servicios de gestión a los que se puede llegar a través del PLME-SAP (*PLME Service Access Point*).

- **Medio óptico:** aquí se encuentran los transmisores y receptores ópticos del dispositivo. Cuando hay varios transmisores y receptores, la PHY permite que se admita la comunicación entre múltiples dispositivos.
- **Capa LLC (*Logical Link Control*) y subcapa SSCS (*Service-Specific Convergence Sublayer*):** la LLC aplica el medio de manejo IEEE 802.2 Tipo 1 y provee la interconexión con la capa de red. Por su parte, la SSCS facilita el ingreso de la LLC a las prestaciones de la MAC.
- **Capa MAC:** facilita el acceso a los datos necesarios en el envío y la recolección de tramas MPDUs mediante la capa PHY. También, permite gestionar las tramas baliza (beacon), la asociación/disociación de dispositivos, el paso al canal de transmisión, el soporte de visibilidad y el control de brillo.
- **Capas superiores:** existen dos capas superiores. Por un lado, la de red posee la configuración y el encaminamiento. Por otra parte, la capa de ejecución suministra el motivo para el cual el dispositivo fue creado.
- **DME (*Device Management Entity*) y dimmer:** el DME funciona como una interfaz en el manejo de las capas PHY y MAC y es el encargado de regular el brillo (Martínez, 2017).

Para tener claridad de la estructura, la Figura 5 muestra un esquema de ellas.

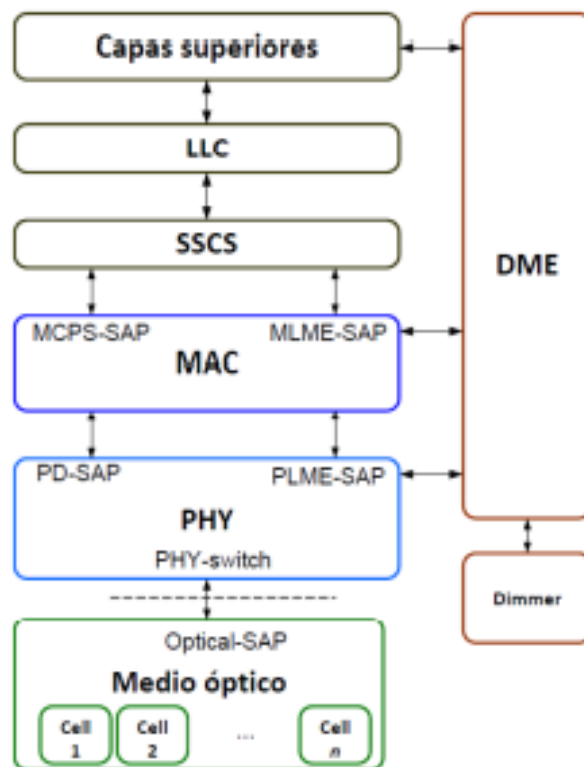


Figura 5. Arquitectura IEEE 802.15.7

Fuente: Tomado de Martínez (2017).

1.5.4. Control de atenuación

Consiste en una funcionalidad compartida entre la capa PHY y la capa MAC. Donde se trata de ajustar la luminosidad del medio de luz según las necesidades y requerimientos propuestos por el usuario

1.5.5. Modelo PHY I

Como se indicó previamente, la capa PHY es la encargada de brindar la interfaz entre el canal óptico y la MAC; además, provee el servicio de datos por medio del PD-SAP y el servicio de gestión mediante el PLME-SA. La PLME proporciona el servicio de gestión, y es el encargado sostener la base de datos de los objetos administrados por la capa PHY. Finalmente, el PHY-switch funciona como una interconexión por parte del punto de acceso al servicio óptico SAP y la PHY (Martínez, 2017).

1.5.6. Modelo PHY II

Es aplicado comúnmente en interiores, ya que posee un esquema más eficaz y simple que el modelo anterior. La velocidad varía entre los 1,25 Mbps hasta los 96 Mbps, y su desempeño es muy parecido al PHY I: el RS es el encargado de codificar los bits de entrada, mientras que a la salida estos pasan por una codificación RLL en la que la insignia se encuentra formado por 2, 4, 6 u 8 bits. Finalmente, con OOK o VPPM es modulado el transmisor. Cabe recalcar que este y el anterior modelo envían información a un solo LED, hecho conocido como SISO (Oyola y Sañudo, 2016).

1.5.7. Modelo PHY III

PHYIII opera en base a un sistema MIMO -múltiples entradas con múltiples salidas- a una velocidad de 12 Mbps a 96 Mbps. De la misma forma, pasa a través del bloque de codificación de RS que es el encargado de convertir una cadena de bits en tramas y para que sean codificadas repetidamente por RS. El gran cambio radica en la modulación CSK, que consiste en la incrustación de color de tres de los siete grupos del espectro de luz visible, donde a cada cual le corresponde un valor x-y y un código específico. Posterior a esto, son transformados en valores RGB y transmitidos a través de los LED.

El receptor cuenta con tres fotorreceptores para detectar diferentes colores, pues tiene tres distintas longitudes de onda. De este modo, se ejecuta el proceso de corrección y de inversión, se establece la simbología de cada conexión y el decodificar gracias al RS consigue los datos enviados (Oyola y Sañudo, 2016).

1.5.7. Ventajas de la tecnología Li-Fi

Existen múltiples ventajas que es importante detallarlas:

- Gracias a las características propias de los LED, Li-Fi posee una vida útil más larga que otro tipo de red inalámbrica y sin perder su rendimiento.
- Debido al ancho de banda de la luz y la baja interferencia, Li-Fi alcanza velocidades de transmisión muy altas.

- Es una tecnología más ecológica con el medioambiente, pues los LED, consumen menos energía, no contienen mercurio ni otros elementos perjudiciales y son más eficientes.
- Proporciona un doble uso: funciona como fuente de luz eléctrica y como conexión inalámbrica.
- Debido a que Li-Fi utiliza ondas de luz, es posible emplearse bajo el agua.
- Las señales no pueden interceptarse, lo que implica mayor seguridad para manejar los datos.
- Li-Fi utiliza líneas eléctricas ya existentes y no requiere de nuevas infraestructuras.

1.5.8. Limitaciones de la tecnología Li-Fi

Así como existen importantes ventajas, también hay limitantes de esta tecnología:

- Está delimitada por la luz y su alcance, no puede atravesar las paredes y requiere una serie de emisores para lograr obtener la entrada a la red.
- La transmisión de datos requiere que la iluminación esté encendida constantemente, lo cual incrementa costos relacionados.
- Únicamente trabaja con aquellos dispositivos que son afines con esta tecnología.
- Aún se encuentra en etapa de desarrollo; por tal motivo, no es comercializada de manera masiva.
- No trabaja adecuadamente en sitios que se encuentren de forma directa o indirectamente expuestos a la luz.
- Hasta el momento, los mecanismos necesarios para realizar una implementación de una red Li-Fi son extremadamente costosos.

1.5.9. Li-Fi en relación con el medio ambiente

Los sistemas de comunicación utilizan generalmente el espectro de radiofrecuencia. Por ese motivo, Li-Fi representa una ventaja con relación al Wi-Fi, pues utiliza el espectro de luz visible que además es amigable con el medioambiente, dado que no emite ondas electromagnéticas perjudiciales para la salud, y acarrea consigo otras ventajas detalladas a continuación:

- Requiere bajo mantenimiento, pues dura entre 3500 y 50 000 horas, en promedio 6 horas diarias, lo que implica una vida útil de 20 años o más.
- Reduce la polución electromagnética debido a que evita la transmisión de este tipo de ondas hacia las personas.
- El uso de luces LED aporta a reducir la huella de carbono.
- Produce un ahorro energético considerable, puesto que el consumo es de 50% a 90% menos que la energía tradicional (Cantos, 2020).

CAPITULO II

2. ASPECTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES DE LI-FI

El capítulo ahonda en los principales aspectos técnicos y comerciales para implementar la tecnología Li-Fi. También, hace hincapié en los dispositivos disponibles en el mercado, su compatibilidad, facilidad de implementación, compañías que los comercializan y su evolución.

2.1. Componentes principales de un sistema VLC

Para llevar a cabo una transmisión VLC, existen dos componentes necesarios:

- 1) **Unidad transmisora:** a través de varios tipos de LED es capaz de propagar luz que resulta visible, y es modulada gracias a los distintos tipos de datos que se pretende enviar ya sea de forma unidireccional/simplex, bidireccional HDX o FDX.
- 2) **Unidad receptora:** requiere varios componentes para poder demodular/decodificar la luz que es recibida a través de datos como fotodiodos, matrices CCD, fototransistores, entre otros. Así mismo, necesita dispositivos criptográficos y estenográficos para poder volver visibles los cifrados y los datos no observables/identificables.

A continuación, la Figura 6 presenta el esquema básico de un sistema VLC.

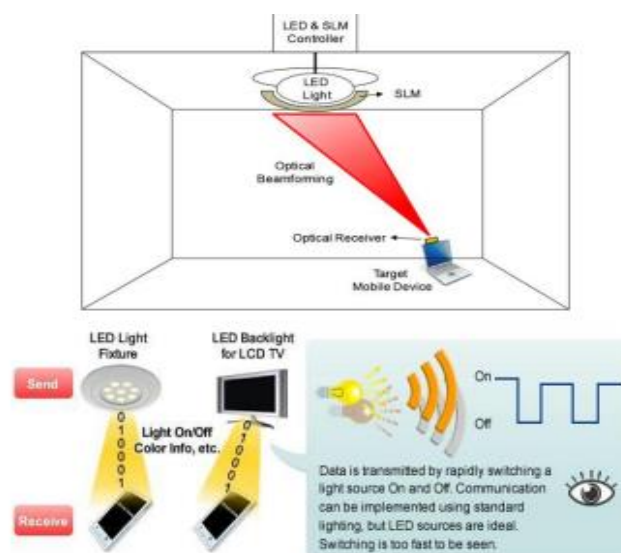


Figura 6. Esquema de un sistema básico de VLC.

Fuente: Tomado de Martínez (2017).

2.1.1. Métodos de modulación

2.1.1.1. VPPM (*Variable Pulse Position Modulation*)

La modulación por variación de pulso se basa en el mismo principio utilizado en la codificación RZ-OOK: para representar un 1 es necesario que la duración del pulso de luz sea menor a un periodo del reloj. En otras palabras, el codificador muestra 0 mediante un pulso de luz el cual se encontrará alineado del lado izquierdo (primera mitad del periodo del reloj) e indica 1 con un pulso el cual se encontrará alineado del lado derecho (segunda mitad del periodo del reloj). En ese sentido, la modulación VPPM utiliza este principio, pues el ancho del pulso de luz varía según su posición (derecha o izquierda, 0 o 1) (Gutiérrez, 2017).

Para mayor entendimiento, la Figura 7 expone un esquema.

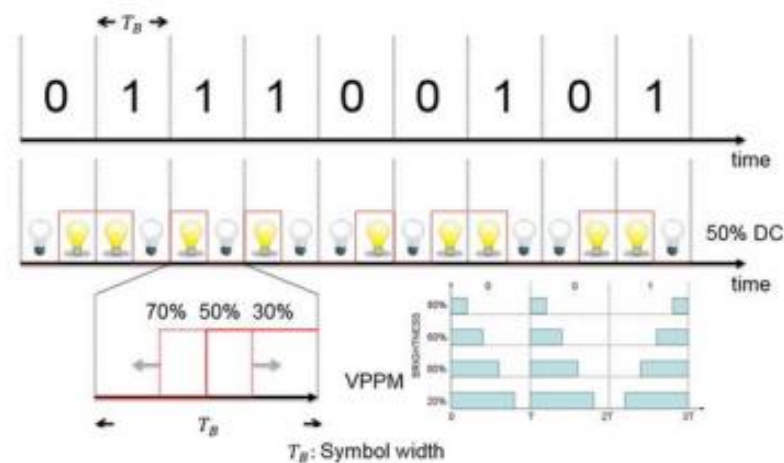


Figura 7. Esquema de modulaciones RZ-OOK y VPPM.

Fuente: Tomado de Gutiérrez (2017).

2.1.1.2. DM (*Orthogonal Frequency Division Multiplex*)

El método de modulación OFDM consiste en que el espectro de cada dato se convierte en una mínima fracción del ancho total de la banda, que a su vez es dividida en N subcanales modulados cada uno con una insignia. Posteriormente, se multiplexionan en frecuencia para prevenir que exista numerosos filtros y moduladores dentro del transmisor.

Así mismo, con la ayuda de demoduladores en el receptor y filtros complementarios, se aplican nuevas alternativas de análisis digital de señales,

en este caso siendo esta la transformada de Fourier. En el caso de OFDM, para generarlo hay que tomar en cuenta tres parámetros: el esquema de modulación, el intervalo de guarda a utilizar y el número de subportadoras determinado según el ancho de banda del canal, la persistencia del símbolo útil y la velocidad de los datos; equivale a la cantidad de puntos complejos que pueden llegar a ser procesados en la FFT (Jiménez et al., 2001).

2.1.1.3. PWM (*Pulse Width Modulation*)

La modulación PWM se encuentra fundamentada por un principio denominado de balance, donde trabajan los voltios por segundo, en el mismo el ciclo de trabajo está definido por un voltaje, la frecuencia esperada a la salida del inversor y la amplitud. En otras palabras, maneja el promedio de voltaje en la salida durante un período de tiempo relativamente corto, denominado período de conmutación, generando pulsos de ciclo de trabajo variable.

En este caso, se compara una onda de tipo triangular de elevada frecuencia (portadora) con una señal sinusoidal (señal de referencia) que representa la salida a obtener. Cuando las portadoras están por debajo del valor de referencia, el comparador produce una salida alta y se transfiere a la rama del transistor inversor, que es responsable de encender el transistor superior y apagar el transistor inferior a través de la puerta NOT. Si ocurre lo contrario, para ondas portadoras mayores que el valor de referencia, la salida del comparador es baja, el transistor superior se desactiva y el transistor inferior se activa (García y Arboleda, 2007).

2.1.1.4. CSK (*Colour Shift Keying*)

La modulación por desprendimiento de color utiliza una unión de tres elementos RGB para producir distintos colores y constelaciones de orden superior; por lo tanto, la modulación CSK es más eficiente espectralmente que OOK y VPPM. Cada color producido necesitara generar la misma cantidad de flujo luminoso para que el ser humano a través de la vista no pueda detectar fluctuaciones; la premisa se proporciona asignando cadenas de bits a puntos de color en el espacio CIE XY 1964 definido por la Organización Internacional (Figura 8). Comité Internacional de Iluminación. Este lugar proviene de las coordenadas tridimensionales XYZ y es necesario para cuantificar la energía

recibida en longitudes de onda que pueden ser cortas, medianas o largas para las tres imágenes receptoras (Gutiérrez, 2017).

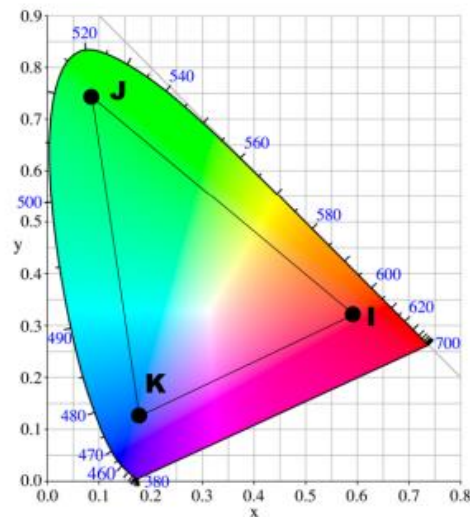


Figura 8. Área de componentes en el espacio CIE XY 1964

Fuente: Tomado de Gutiérrez (2017).

2.1.1.5. OOK (*On-Off Keying*).

La modulación encendido-apagado utiliza en inglés el término keying, cuyo origen radica del código morse, pues él envió de datos se desactiva o activa de manera manual (se le llamaba *key* al interruptor utilizado para ello). La OOK en banda base se sustenta en apagar o encender la lámpara LED en función del dato o bit a transmitir es 0 o 1 lógico; en otras palabras, el encendido y el apagado están relacionados con una forma de pulso determinada y uno de los dos dígitos (Díaz, 2021).

La Figura 9 muestra la modulación OOK: el 1 lógico está asociado con la existencia de un pulso de duración (encendido) y el 0 lógico consiste en la falta de él (apagado). Como se puede apreciar, en los pulsos de tipo NRZ, el transcurso de tiempo de bit y de símbolo es muy parecido.

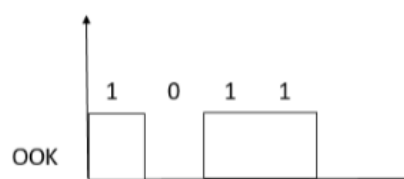


Figura 9. Modulación OOK

Fuente: Tomado de Díaz (2021).

2.2. Diseño de una red Li-Fi

Para diseñar una red Li-Fi (Figura 10), es necesario cumplir con los siguientes requisitos: contar con un suministrador de internet ISP, los drivers Li-Fi, bobina LED que contenga el modulador tipo chip ubicado en la transmisión, un fotosensor y, finalmente, un receptor (celular, laptop u otro) que recopile la información.

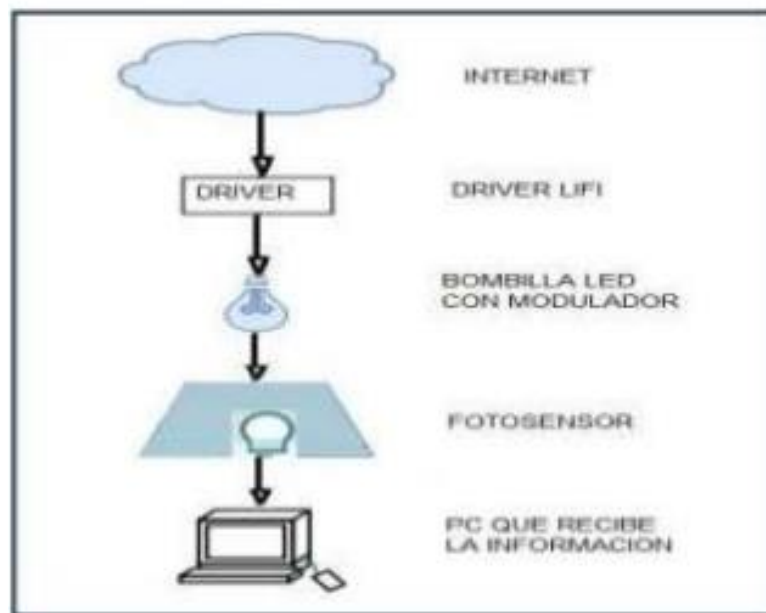


Figura 10. Diseño de red Li-Fi

Fuente: Tomado de Cantos (2020).

2.3. Funcionamiento de la Tecnología Li-Fi

Una de las problemáticas para la implementación de nuevas tecnologías es su comercialización. En el caso de Li-Fi, se requiere transceptores miniaturizados costo mínimo y alta potencia, pues solo de esta forma podrían utilizarse en sistemas celulares de nueva generación (5G), seguridad y defensa, comunicaciones e interfaz inalámbricas en distintos centros de datos, Internet de las Cosas (IoT), entre otros.

Hay que tomar en cuenta también dos elementos esenciales: el modulador encargado de inducir el encendido y apagado, que está conectado a la lámpara led y envía la señal de 1 cuando se enciende el led y 0 cuando está apagado; así mismo, el dispositivo electrónico responsable de recibir la

información directamente del led, generalmente un fotodiodo. Para mantener una buena visión y longitud, se utiliza en el modulador técnicas de OOK y PPM (Figura 11).

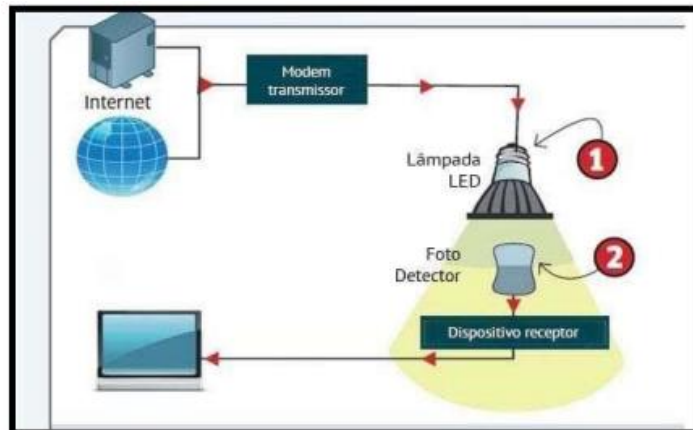


Figura 11. Funcionamiento de la tecnología Li-Fi

Fuente: Tomado de Novillo et al. (2017).

2.4. Principales parámetros que poseen las ondas Li-Fi

2.4.1. Transmisión

Li-Fi utiliza las ondas de luz visible que se mueven a través del espacio, así como frecuencias que varían entre los 385 Thz y 789 Thz; de este modo, alcanza una velocidad de 1 Gbps y proporciona un ancho de banda ilimitado que se ayuda de las modulaciones OOK, CSK y VPPM, según la capa física utiliza. Para transmitir los datos, es indispensable instalar junto a las bombillas LED un modulador con el fin de realizar el cambio de la señal para emitirla. En el caso del receptor, un fotodiodo es el encargado de establecer la comunicación bidireccional (Núñez, 2017).

2.4.2. Propagación

La luz es el medio por el que las ondas Li-Fi se transmiten. Esta no requiere un recurso material para propagarse, al tratarse de una onda electromagnética, y su velocidad estará condicionada por el medio, dado que en el vacío es de 300 000 km/s y en otro lugar cualquiera que sea este será más baja (Núñez, 2017). Además, para analizarla debe tomarse en cuenta la reflexión, difracción, refracción, absorción, atenuación y dispersión.

2.4.2.1. Reflexión

La reflexión es producida cuando la luz incide con respecto a un medio material. Puede ser de dos tipos: especular, cuando esta llega a reflejarse encima de una superficie que este pulimentada; difusa, cuando el reflejo es sobre una superficie rugosa y los rayos rebotan por varios lados (Núñez, 2017).

2.4.2.2. Difracción

Ocurre cuando las ondas luminosas se desvían alrededor de las esquinas. Es un fenómeno que consiste en la modulación o redistribución de la energía que se encuentra adentro de un frente de onda y está muy pegada a la orilla de un objeto opaco (Núñez, 2017).

2.4.2.3. Refracción

La refracción sucede ante un cambio en la dirección cuando un rayo luminoso pasa de un medio a otro. Cuando la luz se mueve y disminuye su rapidez, el rayo refractado se aproxima a la normal; en cambio, cuando aumenta la velocidad, se aleja de la normal (Núñez, 2017).

2.4.2.4. Absorción

Cuando ocurre dentro del rango de la luz visible, se conoce como absorción óptica. La radiación puede transformarse o convertirse en una distinta forma de energía: transformándose en calor o en casi todos los caos en energía del tipos eléctrica. Así mismo, hay que tomar en cuenta que los materiales suelen absorber algún rango de frecuencia: aquellos opacos lo hacen en todo el rango de la luz visible, pero los transparentes en realidad dejan pasar el rango de frecuencias (Núñez, 2017).

2.4.2.5. Atenuación

Debido a que la luz es el medio de transmisión directa Li-Fi, y en vista de que no traspasa paredes, no existe atenuación alguna, pues siempre debe permanecer bajo ella (Núñez, 2017).

2.4.2.6. Dispersión

Fenómeno por el que las ondas de distinta frecuencia se separan en sus colores componentes al atravesar un material y son más o menos dispersivas. Cabe acotar que la dispersión afecta a las ondas de luz que atraviesan el agua, el vidrio o el aire (Núñez, 2017).

2.5. Seguridad en los sistemas Li-Fi

La seguridad de las VPAN se gestiona de manera distinta que otras redes debido a su direccionalidad y a que tan visibles puedan llegar a ser, producto de trabajar con el espectro óptico visible; entonces, cuando un receptor no autorizado busca interceptar la señal o se interpone en su camino, es más fácil de reconocer. Además, estas señales no viajan a través del medio; es decir, no atraviesan las paredes como sí lo hacen otras.

De todos modos, siempre se deben utilizar algoritmos de seguridad que cumplan con las siguientes características: confidencialidad de los datos, autenticación y protección de reproducción. Por supuesto, la elección de algoritmos y protocolos de cifrado, que incidan de manera directa al proceso de diseño de la arquitectura de seguridad, suele ser limitada porque las relaciones de sesión con los distintos dispositivos deben establecerse y mantenerse con mucho cuidado (Cantos, 2020).

2.6. Principales empresas y dispositivos Li-Fi

2.6.1. PureLiFi

PureLiFi, inicialmente D-Light y luego PureVLC, la fundó en 2012 el Dr. Mostafa Afgani y el profesor Harald Haas. La empresa fue la pionera en comercializar el primer sistema Li-Fi a nivel mundial, denominado Li-1st, financiado por Innovate UK con apoyo de Cisco.

En enero de 2014, la compañía cambió su nombre por el que es conocido hasta hoy día. Desde entonces, también ha sido la precursora en lanzar al mercado Li-Flame (la primera unidad Li-Fi móvil del mundo), LiFi-X, LiFi Donglea y la luminaria integrada LiFi-XC (con ayuda de Lucibel como socio), que se convierte en el primer sistema Li-Fi certificado. Además, comercializó

la segunda generación de iluminación integrada y la primera antena LiFi incorporada en teléfonos móviles. En la actualidad, cuenta con sistemas Li-Fi para uso personal e industrial (PureLiFi, 2023).

2.6.1.1. Antena de luz ONE™

Dispositivo que permite integrar la tecnología Li-Fi a los dispositivos móviles; trabaja bajo el estándar de comunicación de luz IEEE 802.11bb. Como se puede observar en la Figura 12, sus dimensiones son 12.5 mm x 4.5 mm x 14.5 mm; así mismo, la Tabla 2 especifica sus características técnicas.

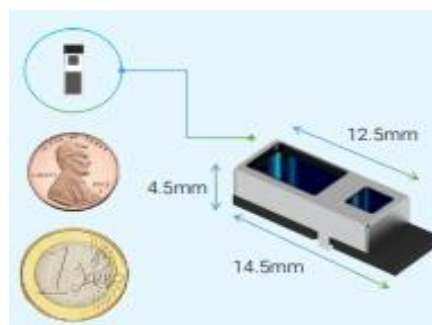


Figura 12. Antena de luz ONE™

Fuente: Tomado de PureLiFi (2023)

Tabla 2. Características de la antena de luz ONE™

Tipo	Detalle
Velocidad de datos	1Gbps +
Rango (cm)	20-300
Campo de visión de Tx (Transmisión)	24 grados
Longitud de onda de operación (nm)	850 ± 10
Banda base	Agnóstica
Canales	Monocanal o multicanal Soporte de frecuencia máxima de 300Mhz

2.6.1.2. Cubo LiFi™

Funciona como un gateway, puerta de enlace o un punto de acceso Li-Fi independiente o en conjunto con varios cubos para obtener una conexión instantánea a una red local, Internet o punto a punto. Opera bajo el estándar IEEE 802.11bb y requiere un kit de red Wi-Fi; de este modo, se ejecuta como un cliente Li-Fi independiente y puede integrarse por medio de una antena de luz ONE para funcionar como enlace invisible de alta velocidad, proporcionar

un enlace de baja latencia y un ancho de banda de hasta 250 Mbps (independiente de la iluminación del lugar) (Figura 13).



Figura 13. Cubo LiFi

Fuente: Tomado de PureLiFi (2023)

2.6.1.3. LiFi-XC™

Sistema de comunicación inalámbrica completamente en red que sirve para la evaluación de casos de uso de Li-Fi (Figura 14). Se basa en protocolos 802.11 que se integran con facilidad a una red Wi-Fi ya existente, y al ser compatible con varios downlights estándar, le es posible realizar una evaluación flexible de Li-Fi. También, permite la movilidad entre puntos de acceso, puesto que ofrece una estación Li-Fi USB que trabaja con dispositivos Windows y Linux. Así mismo, tiene compatibilidad con PoE/PoE+ y Cisco UPOE, de modo que el cableado para implementar la red es mínimo. Las características principales del sistema están detalladas en la Tabla 3.

Tabla 3. Características LiFi-XC

Tipo	Detalle
Velocidad de línea de enlace descendente (máx.)	43 (Mbps)
Velocidad de línea de enlace ascendente (máx.)	43 (Mbps)
Distancia operativa mínima	1.0 (m)
Distancia operativa máxima	6.0 (m)
Máximo de usuarios simultáneos	8
Traspaso Inter-AP (roaming)	Soportado
Atto-Cell Diámetro @ rango de 2,5 m	2.8 (m)
Atto-Diámetro de celda a 3 m de alcance	3.5(m)



Figura 14. LiFi-XC

Fuente: Tomado de PureLiFi (2023)

2.6.2. Global LIFI Tech

Empresa fundada en 2016, encargada principalmente de promover, integrar e instalar la tecnología Li-Fi para la transmisión de datos. Sus principales productos son el LiFiMAX y GEOLiFi.

2.6.2.1. LIFIMAX®

Sistema de comunicación inalámbrica óptica a través de una luz invisible que proporciona acceso a una red ultrarrápida hasta para 16 usuarios: la velocidad de descarga alcanza 100 Mbps y la de carga 40 Mbps. El gateway necesita de un acceso PoE, mientras que los usuarios solo tienen que conectar el dongle USB LiFiMax al dispositivo que desean que tenga conexión (ver Figura 15 y Tabla 4).



Figura 15. LIFIMAX

Fuente: Tomado de Global LIFI Tech (s.f.).

Tabla 4. Características LiFi-XC

Características
VPN/VLAN
Cifrado de 128 bits
Programa de administración
Servidor DHCP
Traspaso / Roaming
Informes IDS/IPS
Informes de tráfico/cortafuegos
Informes de amenazas

2.6.2.2. Kit GEOLiFi®

Dispositivo de mapeo que permite a las personas movilizarse entre puntos en un área cubierta mediante una plataforma. El kit cuenta con lámparas de clip GEOLiFi que proporcionan la red, así como una tableta construida para operar con esta tecnología debido a que cuenta con un receptor GEOLiFi API/SDK (Figura 16).



Figura 16. Kit GEOLiFi

Fuente: Tomado de Global LIFI Tech (s.f.).

2.6.3. Oledcomm

Empresa fundada en 2012 como una derivación de los laboratorios de investigación de la Universidad de Versailles-Saint-Quentin, dedicados al estudio de la comunicación a través de la luz visible. Oledcomm se convirtió en uno de los pioneros en desarrollar la tecnología Li-Fi: fue la primera compañía en proporcionar conexión de banda ancha de este tipo a un avión comercial; su producto MyLiFi fue galardonado con dos premios CES a la innovación; en 2020, equipó por completo a Palissy High School con esta tecnología.

Actualmente, posee una alta gama de productos que trabajan con tecnología Li-Fi como por ejemplo LiFiMAXController, que proporciona un punto de acceso con una rapidez de transmisión de hasta 150 Mbps; también, el receptor Li-Fi, USB que facilita a cualquier dispositivo conectarse a la red (Oledcomm, s.f.).

CAPÍTULO III

3. APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LI-FI EN ECUADOR

El capítulo expone un análisis de la literatura relacionada con la tecnología Li-Fi con el afán de determinar su proceso de implementación. Al finalizar, se detallan las conclusiones y recomendaciones respectivas.

3.1. Análisis de datos

Para analizar la tecnología Li-Fi y su viabilidad como complemento a las tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador, es necesario acudir a fuentes y estudios originales primarios. De este modo, se puede reducir la información disponible, aumentar la veracidad de las conclusiones, determinar las áreas de incertidumbre y contestar la pregunta de investigación previamente redactada por un proceso sistemático y explícito.

3.1.1. Metodología aplicada

La elección de la literatura se realizó mediante estudios de mapeos sistemáticos (SMS), método menos exhaustivo que una revisión sistemática (Carrizo y Moller, 2018). El principal objetivo fue mostrar los resultados obtenidos en investigaciones relacionadas a la implementación de Li-Fi y evidenciar si es o no factible usarla como complemento a otras tecnologías inalámbricas.

La investigación se basa en tres pasos fundamentales:

- **Definición para la búsqueda:** delimitar la pregunta de investigación, los criterios de inclusión y exclusión, el alcance de la revisión y, por último, la cadena de búsqueda.
- **Ejecución de la búsqueda:** seleccionar los trabajos primarios y los criterios de análisis.
- **Análisis de los resultados:** desarrollar los esquemas de caracterización y analizar los resultados de la investigación.

A continuación, la Figura 17 presenta un diagrama del mapeo sistemático.

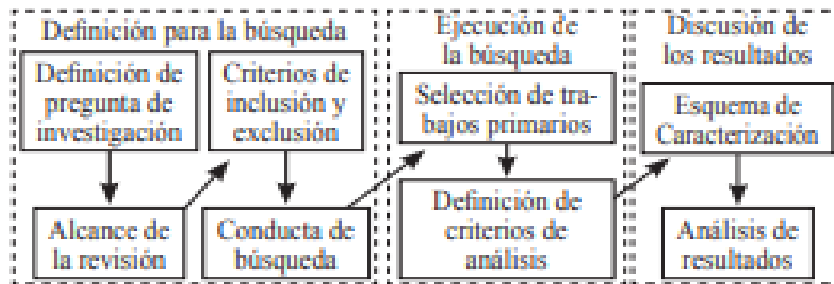


Figura 17. Diagrama de mapeo sistemático

Fuente: Tomado de Carrizo y Moller (2018).

3.1.1.1. Definición para la búsqueda

3.1.1.1.1. Preguntas de Investigación

Debido a que la tecnología Li-Fi es un tema amplio, se presentan las siguientes preguntas de investigación:

- **Pregunta 1:** ¿Qué ventajas proporciona la implementación de tecnología Li-Fi en Ecuador?
- **Pregunta 2:** ¿Usar la tecnología Li-Fi es rentable y mejora la calidad de la red?
- **Pregunta 3:** ¿Puede la tecnología Li-Fi funcionar como un complemento a otras tecnologías inalámbricas ya existentes?

3.1.1.1.2. Alcance de la revisión

El estudio se centró en realizar un análisis de información de fuentes primarias halladas por medio de motores de búsqueda. En principio, se acudió a librerías virtuales, como IEEE Xplore, Dialnet y Web of Science, para buscar publicaciones de 2005 a 2023 con base en el término *Lifi Technology*, lo que arrojó cerca de 400 documentos. No obstante, al ajustarlo aún más con los términos *Lifi Technology Implementation* y *Lifi Technology Implementation in Ecuador*, no se encontró resultado alguno. Por esa razón, se optó por usar las mismas cadenas de búsqueda en Google Scholar, y pudo encontrarse así 222 documentos.

3.1.1.1.3. Criterios de inclusión y exclusión

Se tomaron en cuenta estudios en español e inglés enfocados en implementar la tecnología Li-Fi en Ecuador, ya sea diseños de red o prototipos, así como documentos que realizan una comparación de la tecnología Li-Fi con otras inalámbricas. Por otro lado, se excluyen documentos de estudios teóricos y que no implementan ni diseñan una red.

3.1.1.1.4. Conducta de búsqueda

La selección de los estudios primarios se realizó mediante dos filtros:

- **Primer filtro:** revisión de títulos y análisis del resumen de las fuentes encontradas por medio de las cadenas de búsqueda.
- **Segundo filtro:** lectura del documento y análisis para corroborar que cumpla con los criterios de inclusión.

3.1.1.2. Ejecución de la revisión

- **Selección de los estudios primarios:** una vez aplicados los filtros, fueron seleccionadas 12 publicaciones primarias.
- **Definición de criterios de análisis:** para analizar los trabajos, se definieron una serie de criterios para compararlos y evaluarlos:
 - **Año de publicación:** dato que determinar qué tan actualizado se encontraba el desarrollo de la tecnología Li-Fi al momento de la implementación.
 - **Tipo de publicación:** tesis o artículo científico.
 - **Enfoque de la publicación:** consiste en determinar si el estudio implementa directamente la tecnología Li-Fi y la utiliza como complemento a otra tecnología inalámbrica.
 - **Lugar:** conocer la zona en la que se implementó esta tecnología permite analizar las dificultades que pudieron presentarse.

3.1.1.3. Discusión de Resultados

3.1.1.3.1. Esquema de caracterización

La tabla 5 detalla los datos de identificación de los trabajos tomados en cuenta para el presente estudio.

Tabla 5. Esquema de caracterización de los estudios primarios

Autor	Año	Tipo	Enfoque	Lugar
Aguilar J, Verónica A, Lagos A	2017	Tesis	Diseño de prototipo de red	Universidad UDLA
Oyola Ponce Irving, Sañudo Alvarado Cinthia	2016	Tesis	Diseño de prototipo	Biblioteca Universidad de Guayaquil
García Franco, Wendy Stefany	2020	Tesis	Diseño de Prototipo	Laboratorio Universidad de Guayaquil
Jimmy Javier Choez Aranea	2018	Tesis	Diseño de prototipo de red	Laboratorio Universidad estatal de Manabí
Salinas Jiménez Fabricio Xavier	2016	Tesis	Diseño de Prototipo	No especificado
Gómez García, Arelis Zuany, Seguiche Acosta, Andrea Estefanía	2018	Tesis	Diseño de prototipo de red	No especificado
Gómez Matamoros Hugo Richard, Narváez Albán Galo Eduardo	2018	Tesis	Diseño de Prototipo	Empresas del tipo PYME
Naranjo Peña Oscar Vinicio, Casillas Salazar Freddy Iván	2016	Tesis	Diseño de prototipo de red y prototipo	Facultad Ciencias Matemáticas y físicas Universidad e Guayaquil
María Benalcázar, Oliver Cumbajín y Jorge Rubio	2020	Articulo Científico	Diseño de Prototipo	Ambientes con luz Artificial
Moreno Iza Gino	2016	Tesis	Diseño de Prototipo	Universidad Técnica de Cotopaxi
Caisaguano Villa B	2018	Tesis	Diseño de prototipo y comparativa entre tecnologías	No especificado
Ocampos Mendoza K	2022	Tesis	Implementación	Universidad Estatal del Manabí

3.1.1.3.2. Análisis general

En primera instancia, es importante acotar que no es común ni fácil encontrar estudios que implementen en Ecuador la tecnología Li-Fi y/o la utilicen como complemento a otras inalámbricas. Además, gran parte de ellos han sido desarrollados entre 2016 y 2023, lo que evidencia que es una tecnología apenas en desarrollo.

Con respecto al lugar de implementación, siete estudios lo hicieron en las respectivas universidades, lo que representa una estructura y costo elevado al tratarse de una red más robusta; dos trabajos se centraron en las PYMES por medio de ambientes con luz artificial; finalmente, tres investigaciones desarrollaron los prototipos sin un lugar específico de implementación.

Con respecto al enfoque se determinaron cuatro alternativas: implementación de la red, diseño de esquema de red, comparativa de tecnologías y diseño de prototipo. Este último es el que predomina en ocho estudios; es decir, los trabajos no implementan totalmente la tecnología y solo la desarrollan.

3.1.1.3.3. Análisis de resultados

En primer lugar, Aguilar y Lema (2017), García (2020), Naranjo y Casillas (2016) y Ocampos (2022) coinciden en que la implementación de la tecnología Li-Fi no debe enfocarse en reemplazar a la red inalámbrica ya existente, sino en complementarla. Los estudios coinciden en que es una tecnología amigable con el medioambiente, menos perjudicial para la salud (a diferencia del Wi-Fi que utiliza ondas de radio), con bajo costo energético debido a que los diodos led consumen menos energía que las lámparas tradicionales y además tienen mayor tiempo de vida. En esta misma línea, Oyola y Sañudo (2016) [Haga clic o pulse aquí para escribir texto.](#) enfatizan que es una tecnología muy segura y salvaguarda la integridad, confidencialidad y disponibilidad de los datos.

Por otro lado, Gómez y Narváez (2018) realizaron una comparación entre las características de Li-Fi y Wi-Fi y determinaron que la primera posee mayor velocidad, seguridad y desempeño (especialmente en contraste con Wi-Fi 802.11n), pero no busca ser reemplazo sino complemento de Wi-Fi, hecho

que también lo expone Benalcázar et al. (2020). Además, al ser una tecnología aún en desarrollo, los proveedores y equipos no son comunes en el mercado y resulta costoso implementarla en PYMES que no tengan recursos suficientes.

Con respecto al cuidado ambiental, Salinas (2016) enfatiza que la tecnología Li-Fi es muy amigable con el medioambiente, hecho que aporta al país en vista de que Ecuador es parte del Convenio de Minamata sobre el Mercurio, que busca eliminar el uso de este elemento presente en algunos equipos, dispositivos y focos ahorradores.

En cuanto a su aplicación, Gómez y Seguiche (2018) indican que la tecnología Li-Fi es ideal para utilizarla en lugares cerrados, pues no puede ser interceptada por ubicaciones remotas debido a que no traspasa las paredes. También, es muy útil para campos con iluminación inteligente y constituye un gran aporte para el IoT. Entre las desventajas destacan dos: la conexión puede interrumpirse cuando el paso de la luz se bloquea por algún objetivo y funciona a distancias cortas. En ese sentido, es recomendable implementar Li-Fi en lugares sin entrada de luz solar para evitar interferencias, recomendación que también la indica Moreno (2018).

En lo que respecta a la velocidad, Choez (2018) determinó que Li-Fi agiliza el acceso internet y la transmisión de datos hasta cinco veces más que los sistemas actuales de Wi-Fi. A ello se suma el bajo costo de implementación que es 10 veces más bajo.

Finalmente, Caisaguano (2018) desarrolló un prototipo de red híbrida y comprobó que sí es posible que Wi-Fi y Li-Fi coexistan, pues no generan interferencias entre ellas gracias a que utilizan espectros de frecuencia distintos. Además, el haz no se propaga en todas las direcciones, sino sólo a lo largo de una trayectoria, lo que mejora el rendimiento, eficiencia y seguridad de Li-Fi, especialmente a cortas distancias entre el transistor y el receptor. Por último, los puntos de ingreso en un enlace decreciente Li-Fi Reduzca eficazmente la competencia y la interferencia de los canales de RF.

3.2. Conclusiones

Li-Fi es ideal para complementar a otras tecnologías inalámbricas ya existentes en Ecuador con el fin de optimizar el acceso a internet, tener mayor velocidad de transmisión, así como lograr más seguridad en el manejo de datos, debido a que al ser transferida por la luz y estar delimitada por el espacio, las señales no pueden ser interceptadas. Sin embargo, la desventaja radica en su poco alcance, en la cantidad de luz que abarque su emisor, en la interferencia que ocurre en lugares expuestos directamente a la luz solar y en la necesidad de adaptar los dispositivos para que sean compatibles con Li-Fi.

En la actualidad, existen varios recursos y dispositivos para llevar a cabo la instalación y configuración de una red inalámbrica con buenas prestaciones y alto desempeño. Es posible optar así por la tecnología inalámbrica más adecuada en función del lugar a utilizar, alcance, aplicación, beneficio, costo, entre otros aspectos.

A pesar de que Li-Fi se encuentra constantemente en desarrollo y ha ganado fuerza en el mercado gracias a empresas como PureLiFi o Oledcomm, todavía no es conocida masivamente, hecho que dificulta su implementación y, por ende, eleva los costos de sus equipos. Por esa y otras razones, resulta casi imposible que reemplace por completo a redes inalámbricas como el Wi-Fi. Sin embargo, es un complemento ideal principalmente en espacios cerrados que requieran mayor velocidad de transmisión de datos y seguridad, pues su implementación se realiza con base en las líneas eléctricas ya existentes, sin la necesidad de implementar nueva infraestructura y con la opción de manejar una red mixta.

3.3. Recomendaciones

Al implementar una tecnología inalámbrica, es necesario hacer el análisis de las características requeridas, costos y beneficios, en vista de que ello influye en la toma de decisiones.

Si se desea implementar una red Li-Fi, es recomendable que los elementos (emisor y receptor) que forman parte de la interfaz se encuentren debidamente

alineados. Además, deben manipularse con mucha delicadeza debido a que contienen cristales muy propensos a quebrarse.

Por último, dado que la tecnología Li-Fi aún está en desarrollo, se recomienda para futuros estudios, analizar el rendimiento de esta en infraestructuras que funcionen netamente con esta red para poder medir de mejor forma su desempeño.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J. y Lema, V. (2017). *Diseño de una red LI-FI para el bloque 4 de la sede Queri* [Tesis de pregrado, Universidad de las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/7938>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones [ARCOTEL]. (2020, November). *SERVICIO DE ACCESO A INTERNET*. <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/BOLETIN-NOVIEMBRE-2020-25-11-2020.pdf>
- Benalcázar, M., Cumbajin, O., Rubio, J. (2020). Experimentación en un prototipo de tecnología Li -Fi para medir su capacidad de alcance en ambientes con luz artificial. *RECIAMUC*, 4(3), 69-79. [https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/4.\(3\).JULIO.2020.69-79](https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/4.(3).JULIO.2020.69-79)
- Boada, W. y Ulco, N. (2022). *Diseño de la red LI-FI para la Unidad Educativa Municipal José Ricardo Chiriboga* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22752/1/UPS%20-%20TTS824.pdf>
- Caisaguano, B. (2018). *Coexistencia de la tecnología Wifi y Lifi en la transmisión de datos de las comunicaciones inalámbricas mediante el diseño e implementación de las dos tecnologías* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/8087>
- Cantos, J. (2020). *Diseño de una red LIFI para el estudio de saturación, ancho de banda e interferencias* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19478>
- Carrizo, D., Moller, C. (2018). Estructuras metodológicas de revisiones sistemáticas de literatura en Ingeniería de Software: un estudio de mapeo sistemático. *Ingeniare Revista Chilena de Ingeniería*, 26(1), 45-54. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000500045>
- Chango, L. (2022). *Análisis del desempeño de la tecnología WiFi en concordancia con el estándar IEEE 802.11ac en escenarios interferidos y no interferidos para ambientes interiores* [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica del Ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/28361>
- Choez, J. (2018). *Estudio de factibilidad para la utilización de redes LIFI a través de un laboratorio en las carreras de Ingeniería en Sistemas Computacionales y Tecnología de la Información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí] <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1182>
- Cruz, J. (2019). *Modelo de seguridad en redes WLAN utilizando radio definida por software*. Novena Conferencia Científica Internacional, Universidad de Holguín. <https://eventos.uho.edu.cu/index.php/ccm/ccm9/paper/view/2343/933>

- Díaz, D. (2021). *Sistema de transmisión OOK basado en lámparas LED de iluminación* [Tesis de pregrado, Universidad de La Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/24746/Sistema%20de%20transmision%20OOK%20basado%20en%20lamparas%20LED%20de%20iluminacion..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ferreira, I., Urrutia, G. y Alonso-Coello, P. (2011). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: bases conceptuales e interpretación. *Revista Española de Cardiología*, 64(8), 688-696. <https://doi.org/10.1016/J.RECESP.2011.03.029>
- Gaibor, J. (2021). *Análisis de las vulnerabilidades de las redes inalámbricas de RG Intelligent de la Parroquia La Unión, para mejorar la disponibilidad del servicio* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/9480>
- García, C. y Arboleda, C. (2007). *Implementación de técnicas de generación de modulación por ancho de pulso (pwm) utilizando dispositivos de lógica programable (field-programmable gate array) para el control de inversores trifásicos* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://hdl.handle.net/11059/477>
- García, W. (2020). *Análisis de la tecnología Lifi para el desarrollo y mejoramiento de la red en el laboratorio de networking de la Carrera de Ingeniería en Telemática* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54641>
- Global LIFI Tech. (s.f.). *Global LiFi Tech, the LIFI specialist*. http://globallifitech.com/?utm_source=lifi.co
- Gómez, A. y Seguiche, A. (2018). *Estudio de factibilidad del uso de la tecnología Li-Fi (Light - Fidelity) para transmisión de audio* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33469>
- Gómez, H. y Narváez, G. (2018). *Aplicación de tecnología lifi para pymes que requieren seguridad con acceso inalámbrico como alternativa a las redes wifi* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33177>
- Gutiérrez, J. (2017). *Diseño e implementación de dos sistemas de comunicación con luz visible mediante las modulaciones OOK y CSK para análisis de desempeño de transmisión de datos e iluminación* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia] https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69483/Thesis_Master_Book_VLC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Herrera, C. y Sanguano, D. (2013). *Análisis, diseño y desarrollo de una plataforma prototipo para el envío de publicidad a través de redes inalámbricas de área personal, entre dispositivos fijos y móviles mediante tecnología bluetooth* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4344/6/UPS%20-%20ST000965.pdf>
- Jiménez, L., Parrado, J., Quiza, C. y Suárez, C. (2001). Modulación multiportadora OFDM. *Ingeniería*, 6(2), 30-34,
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4797263>
- López, F. (s.f.). *El estándar IEEE 802.11 Wireless LAN*.
<http://www.dit.upm.es/~david/tar/trabajos2002/08-802.11-Francisco-Lopez-Ortiz-res.pdf>
- Martínez, C. (2017). *Implementación software del nivel MAC del estándar IEEE.802.15.7 (VLC) para la plataforma OMNeT++* [Tesis de pregrado, Universidad de las Palmas de Gran Canaria]
<https://accedacris.ulpgc.es/handle/10553/92047>
- Moreno, G. (2018). *Prototipo de comunicación vía luz Li-Fi, para la transmisión de datos mediante un Web Service* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/4587>
- Naranjo, O. y Casillas, F. (2016). *Estudio de Factibilidad de la Implementación de la Tecnología Li-Fi en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/17099/1/UG-FCMF-B-CINT-PTG-N.90.pdf>
- Novillo, J., Moreno, G., Cárdenas, O., Molina, J., Morocho, R. (2017). Estudio entre las tecnologías WIFI – LIFI en la optimización del servicio de internet. *Journal of Science and Research*, 2(8), 50-53.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7344280>
- Núñez, O. (2017). *Análisis comparativo de la tecnología WiFi y LiFi para la selección adecuada en la Facultad de Ciencias Administrativas, Gestión Empresarial e Informática de la Universidad Estatal de Bolívar, año 2016- 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de Bolívar].
<https://dspace.ueb.edu.ec/handle/123456789/1804>
- Ocampos, K. (2022). *Implementación de una red Li-Fi en el laboratorio de telecomunicaciones de la carrera tecnología de la información en la Universidad Estatal del Sur de Manabí* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal del Sur de Manabí].
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4781>
- Oledcomm. (s.f.). *LiFi, high-speed internet through invisible light*.
<https://www.oledcomm.net/>
- Ortiz, D. (2015). *Análisis comparativo del desempeño del estándar IEEE 802.11ac respecto al IEEE 802.11n a través de simulación numérica*

apoyada por software [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10181/6/UPS%20-%20ST001829.pdf>

Oyola, I. y Sañudo, C. (2016). *Estudio de la tecnología Li-Fi como alternativa de comunicación de forma inalámbrica en la biblioteca de la carrera de ingeniería en networking y telecomunicaciones* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/118/simple-search?filterquery=Luz&filtername=subject&filtertype>equals>

Peñafiel, J. (2015). *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 pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7770/1/UPS-CT004629.pdf>

Pisco Zambrano Patricio Oswaldo. (2018). *Análisis de tecnología LiFi como alternativa a la transmisión de datos en las comunicaciones inalámbricas para las carreras de sistemas computacionales y tecnologías de la información de la universidad estatal del sur de Manabí*. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1196>

PureLiFi. (2023). *Our history*. <https://www.purelifi.com/our-history/>

Ramírez, J. y Villanueva, H. (2008). Las redes inalámbricas en las organizaciones. *Acalán Revista de la Universidad Autónoma del Carmen*, (55), 5-9.
<http://www.repositorio.unacar.mx/jspui/handle/1030620191/182>

Salazar, J. (2016). *Redes inalámbricas*. European Virtual Learning Platform for Electrical and Information Engineering.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/100918>

Salinas, F. (2016). *Estudio e implementación de un prototipo para la aplicación de un sistema óptico de comunicación inalámbrica (Tecnología LI-FI (Light-Fidelity))* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/13240>