

# Wi-Fi, WiMAX y Li-Fi

Priscilla Piedra y Martín Flores  
 Escuela de Ingeniería en Computación  
 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica  
 {ppiedra90, mfloresg}@gmail.com

**Resumen**—Este paper pretende explicar las diferencias entre las tecnologías WiFi,WIMAX y Li-Fi las cuales tienen la particularidad de ser tecnologías aplicadas a redes inalámbricas.

## 1. INTRODUCCIÓN

**L**a demanda de comunicaciones se ha vuelto insuficiente muchas veces. Con el paso del tiempo se ha vuelto necesaria la creación de nuevas tecnologías que mejoren los tiempos de transmisión de datos a través de la red y que sean fáciles de implementar y usar al mismo tiempo en tiempos donde el IoT se convierte en un tema importante donde el acceso a internet es popular y son mas los dispositivos móviles con acceso a la red que se crean. Es necesario tener tecnologías capaces de cumplir con la demanda actual que hay en la red como lo son Wi-Fi, WiMAX y Li-Fi.

## 2. WI-FI

Wi-Fi, una abreviatura para *wireless fidelity*, es el nombre que la *Wi-Fi Alliance* ha acuñado para un estándar inalámbrico utilizado para comunicaciones inalámbricas. Los dispositivos Wi-Fi están certificados para trabajar de forma interoperable en algún “sabor” del protocolo 802.11, un estándar inalámbrico de rango/alcance medio. 802.11 funciona a velocidades casi comparables a las de las redes cableadas.

A un dispositivo que transmite WiFi se le conoce como un punto de acceso -*access point (AP)*- o *hotspot*. Entre la conexión a internet y el punto de acceso Wi-Fi, se necesita de hardware diseñado para conectarse con Internet y compartir la conectividad. Existen varias formas diferentes de hacer esto, que dependen de muchos factores, pero en general para la conexión a Internet vía Wi-Fi involucra cuatro cosas:

1. El dispositivo Wi-Fi (un cliente)
2. Una unidad de transmisión Wi-Fi (el punto de acceso)
3. Hardware de conexión con la red (como un *router* o módem)
4. El conexión a Internet (usualmente vía cable o DSL)

La figura 1 muestra una configuración de red típica que permite a los usuario conectarse a Internet por medio de Wi-Fi.

### 2.1. Espectros inalámbricos

A diferencia de mucho otros estándares inalámbricos , 802.11 funciona en porciones “libres” del espectro de radio.

*Este documento fue realizado durante el curso Redes de Computadoras Avanzadas, impartido por el profesor Luis Carlos Loaiza Canet. Programa de Maestría en Computación, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Segundo Semestre, 2017.*

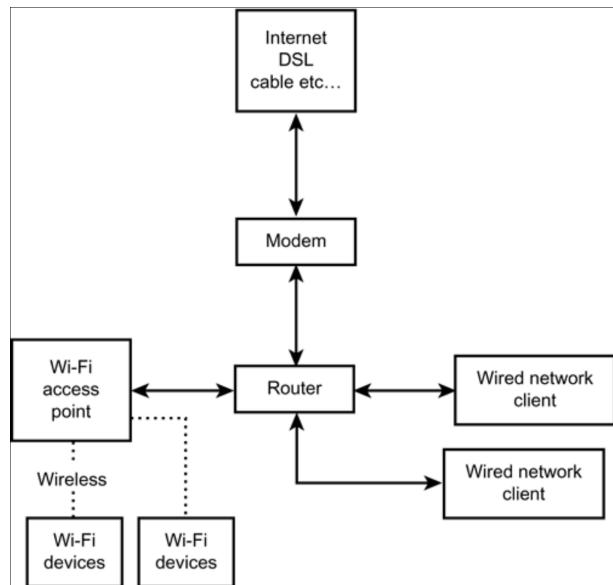


Figura 1. Tomado de [1].

Esto significa que (a diferencia de las comunicaciones telefónicas celulares) ninguna licencia se requiere para transmitir o comunicarse usando 802.11 (o Wi-Fi).

Las porciones libres del espectro de radio usadas por 802.11 (y Wi-Fi) son la bandas de 2.4, 3.6, 5 y 60GHz. Teléfonos inalámbricos y otros electrodomésticos hacen uso de estos espectros libres. El estándar 802.11 y (Wi-Fi) incluye la capa física, en esta se utiliza una tecnología conocida como *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)* para prevenir colisiones y evitar interferencia entre los dispositivos que operan en el mismo espectro. La idea con eso es que una señal que viene de algún electrodoméstico no interfiera con la descarga de un *e-mail* o viceversa.

Además de la capa física, cada dispositivo Wi-Fi 802.11 tiene una capa de control de acceso. La capa de control de acceso especifica cómo un dispositivo Wi-Fi, como una computadora portátil, se comunica con otro dispositivo Wi-Fi, como un punto de access inalámbrico. Para proporcionar seguridad, se le ha añadido al estándar el *Wi-Fi Protected Access solution (WPA)*.

En conjunto, la capa física y la capa de control de acceso, junto con extensiones dirigidas para implementar

funcionalidades extra (como WPA para seguridad) han el estándar 802.11 Wi-Fi.

### 2.1.1. ¿Por qué Wi-Fi es importante?

El estándar 802.11 es importante porque millones de personas alrededor del mundo están haciendo uso de él. Lo utilizan para conectarse sin cables a Internet cuando están de viaje o lejos de su casa u oficina. También se usa 802.11 para crear redes inalámbricas en su casas y oficinas.

Wi-Fi provee garantía de compatibilidad para los dispositivos 802.11. Cada dispositivo 802.11 puede "hablar" con cualquier otro dispositivo Wi-Fi – y la *Wi-Fi Alliance* certifica esto. La funcionalidad y la durabilidad de cada dispositivo con el logo Wi-Fi es probado y certificado en laboratorios independientes. De igual forma, la *Wi-Fi Alliance* y las compañías que la conforman están comprometidas en un esfuerzo continuo para expandir los estándares inalámbricos, y hacer de la computación inalámbrica una experiencia más segura y agradable.

### 2.1.2. Los espectros libres

Cualquier señal que se envía sin cables se le llama transmisión de radio. Cada dispositivo que transmite una transmisión por radio lo hace a una frecuencia particular. Al conjunto total de frecuencias de radio se le conoce como espectro de radio. A las porciones contiguas del espectro de radio se le llaman bandas, como "la banda FM".

Mil megahertz es igual a un gigahertz (GHz). Así que cuando se hace referencia a 2.4GHz, se habla en realidad de 2 400 000 000 oscilaciones por segundo.

Solo hay algunas frecuencias en el espectro de radio que pueden ser utilizadas para transmisiones. Esto inevitablemente lleva a potenciales conflictos acerca de su uso así como intento por dominar frecuencias particulares. Como respuesta parcial, los gobiernos han regulado el uso de la mayoría de estas frecuencias. Algunas frecuencias están reservadas para usos particulares como en defensa militar. Otras como las bandas AM y FM se ofrecen bajo licencia. Algunas áreas del espectro se han dejado de lado para usos que no requieren licencia. Estas áreas retiradas incluyen los espectros como los de 2.4GHz y 5GHz que son los que usa Wi-Fi. Los usos de algunas de las frecuencias del espectro de radio se muestran en la figura 2

El hecho que frecuencias como 2.4GHz y 5GHz se hayan retirado para usos que no requieren de licenciamiento tiene una implicación muy importante: su uso es barato. Esto les brinda a estos espectros "libres" un ventaja competitiva injusta comparado con el uso de un espectro por el que hay que pagar. De igual forma existen restricciones legales de los que se pueda hacer y lo que no con los espectros libres.

También, al ser libre, espectros como 2.4GHz se ha llenado de toda clase de dispositivos de transmisión, desde hornos de microondas hasta teléfonos inalámbricos. Estos dispositivos pueden interferir con la transmisión Wi-Fi y su recepción.

## 2.2. El estándar 802.11 y sus variantes

En general, el núcleo del estándar 802.11 está dirigido a especificar una forma en que las computadoras puedan

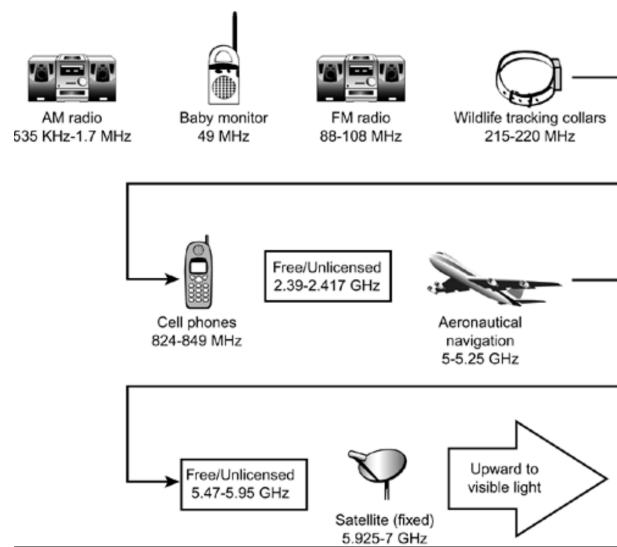


Figura 2. Tomado de [1].

conectarse en red (formando redes de área local) usando los espectros libres de 2.4Ghz y 5Ghz.

Hoy en día cuando se menciona "Wi-Fi", probablemente signifique 802.11b, el cual es un subconjunto del estándar general 802.11. La mayoría de los dispositivos Wi-Fi que están en operación están usando 802.11b. Sin embargo, la tecnología se mueve rápidamente y otras variantes como 802.11g se están haciendo más populares.

Algunas cosas importantes a saber de 802.11b:

- El estándar 802.11b usa el espectro de 2.4Ghz.
- El estándar 802.11b usa la tecnología de DSSS para minimizar la interferencia con otros dispositivos que transmiten en el espectro de 2.4Ghz.
- El estándar 802.11 brinda una velocidad teórica de 11Mbps.

En comparación, la velocidad de 11Mbps se muestra como favorable con respecto a los 10Mbps de velocidad de una red Ethernet cableada convencional 10BASE-T. Sin embargo, por una variedad de razones, las conexiones Wi-Fi raramente alcanzan su máximo teórico. Aún así, las conexiones Wi-Fi deberían ser suficientes para el uso diario cuando se comparten archivos o se navega por Internet.

### 2.2.1. 802.11a y 802.11g

802.11a y 802.11g son variantes del estándar 802.11 que pueden ser considerados como más "inteligentes" que 802.11b. El estándar 802.11a usa la banda de 5Ghz para transmisión lo cual minimiza la posibilidad de interferencia con todos los dispositivos que transmiten en 2.4GHz y promete una rendimiento de 24Mbps.

802.11g opera en la banda de 2.4GHz y cuanta con rendimiento tan rápido como 54Mbps.

En otras palabras ambos, 802.11a y 802.11g ofrecen la promesa de ser considerablemente más rápidos que 802.11b. De hecho, 802.11g está empezando a reemplazar a 802.11b como el estándar para los nuevos equipos. Existen otros estándares como 802.11n, el cual se postula con un nuevo competidor para los anteriores. En [3] se mantiene una lista detallada de las variantes de 802.11 conocidas hasta la fecha.

### 2.2.2. Velocidades de transmisión

En la figura 3 se muestra una comparación de las velocidades de los estándares inalámbricos. 802.11b Wi-Fi es un poco más lento que una red cableada pero es más adecuada para pequeñas oficinas y casas.

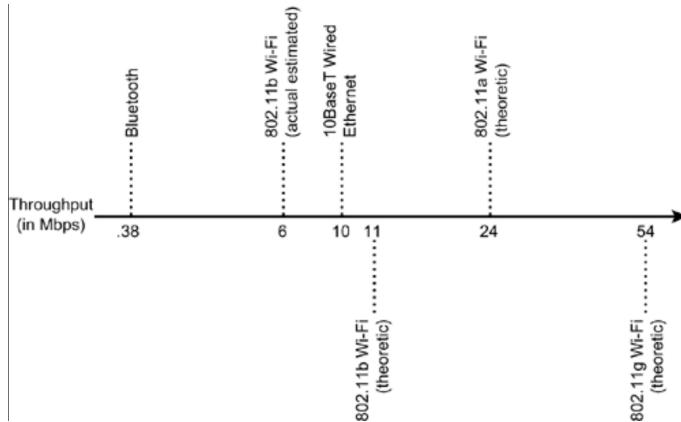


Figura 3. Tomado de [1].

## 3. WiMAX

WiMAX es la abreviación para *Worldwide Interoperability for Microwave Access* y fue introducido en el 2001. Su propósito era promover la conformidad e interoperabilidad del estándar oficial IEEE 802.11 llamado "Wireless MAN". WiMAX está basado en el estándar IEEE 802.16 (tal y como se muestra en la figura 4). Esta tecnología está principalmente asociada como una tecnología de conectividad de "última milla" (*last mile*) de alta velocidad. Las tecnologías de banda ancha como Wi-Fi usan ADSL como su red apoyo (*backbone*), sin embargo, WiMAX usa tecnología inalámbrica, haciéndola accesible incluso en áreas en donde no están conectadas por cable o fibra.

	802.16	802.16a	802.16e
Spectrum	10–66 GHz	2–11 GHz	< 6 GHz
Modulation	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM, 256 QAM
Mobility	Fixed	Fixed	Mobile (<75 Mph)
Bit Rate	32–134 Mbps	70–100 Mbps	15 Mbps
Call Radius	1–3 miles	3–5 miles	1–3 miles
Bandwidth	20, 25, 28 MHz	1.25–20 MHz	5 MHz

Figura 4. Algunos estándares 802.11 para WiMAX [2].

	Fixed WiMAX	Mobile WiMAX
Tipo de Red	Fixed	Fixed, Mobile
Modulación	OFDM	OFDMA
Frecuencia	2.5, 3.4–3.6, 5.8GHz	2.3–2.4, 2.5–2.7, 3.3–3.4, 3.4–3.8GHz
Duplex	TDD, FDD	TDD, FDD
Handoff	No	Sí
Equipo	Outdoor/Indoor CPE	CPE, módulos integrados

Cuadro 1  
Fixed vs Mobile WiMAX

Las principales ventajas de WiMAX sobre sistemas son:

- Mejor rendimiento del sistema gracias a mecanismos avanzados de QoS.
- Mayor rendimiento debido a las robustas tecnologías de adaptación y eficiencia espectral (casi tres veces mejor que los actuales sistemas 3G).
- Capacidad para llenar los vacíos (debido a la conexión inalámbrica) en una región que tiene banda ancha debido a cable/DSL.
- Interoperabilidad
- Tiene la habilidad de "banda ancha bajo demanda", con anchos de banda de hasta 100Mbps.
- El diseño del sistema no necesita condiciones de "línea de vista"

El rendimiento de los sistemas WiMAX se debe al uso de las tecnologías de interface aérea OFDM y OFDMA. La utilización de TDD (*Time Division Duplex*) también mejora el rendimiento del sistema, aunque FDD (*Frequency Division Duplex*) también se puede usar. Gracias a estas técnicas de multiplexación, altas tasas de datos puede ser ofrecidos a los subscriptores con una mayor eficiencia espectral. Debido a 802.16, la calidad del servicio es mayor en el sistema. Las características de MAC permiten una QoS basada en IP e2e, ya que proporciona flexibilidad en la programación de los recursos a través de la interfaz aérea. La red WiMAX es más interoperable que el resto de las redes BWA (*Broadband Wireless Access*). Las frecuencias se encuentran en rangos que van desde 2.3GHz, 2.5GHz y 3.4–3.8GHz para bandas con licencia y 5.8GHz en bandas sin licencia. Aunque las bandas sin licencia parecen ser la mejor opción, existen problemas asociados con las mismas, por ejemplo, interferencia: una gran cantidad de interferencia puede esperarse de otras tecnologías que puedan usar esta banda, por ejemplo *Bluetooth* o *Wi-Fi*. Latencia, seguridad y regulaciones del espectro son también algunos de los problemas que se pueden presentar.

Las características principales de los sistemas WiMAX son:

- WiMAX es un sistema TDD.
- Los requerimientos del espectro van desde 10MHz a 30MHz
  - Banda de frecuencia: Licenciada 2.5/2.5 GHz; 3.5GHz
  - Banda de frecuencia: Sin licencia 5.8 GHz
- Estimaciones de rendimiento:
  - Teórico: 70Mbps (para una portadora de 20MHz)
- Rango celular
  - Para 2.5GHz, 500m - 1.5Km

### 3.1. OFMDA: Modulación en WiMAX

Mobile WiMAX adopta *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) para un rendimiento *multi-path* mejorado en ambientes "fuera de la línea de vista". OFDMA escalable fue introducido como una enmienda para soportar anchos de banda de canales escalables de 1.25 a 20 MHz. El grupo técnico móvil del WiMAX forum está desarrollando perfiles de sistemas WiMAX móviles que van a definir las características obligatorias y opcionales de la norma IEEE.

El perfil habilita que los sistemas móviles sean configurados basados en un conjunto de base de funcionalidad.

Esta es una técnica de multiplexación que subdivide el ancho de banda en múltiples frecuencias sub-portadoras. En este sistema, los flujos de datos de entrada se divide en varias sub-flujos paralelos de tasas de datos reducidos que son modulado y transmitidos en una sub-portadora ortogonal como se muestra en la figura 5.

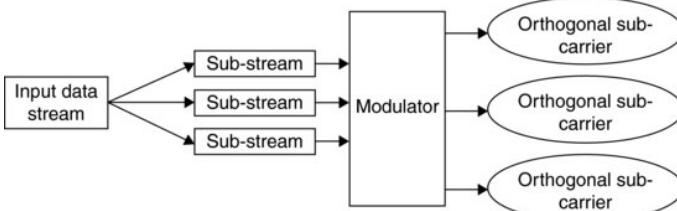


Figura 5. Arquitectura de OFDMA [2].

### 3.2. Arquitectura de WiMAX

Un diagrama de bloques simplificado de la red WiMAX se muestra en la figura 6. La red WiMAX consiste de 3 principales aspectos:

- Estación móvil / Equipo
- Red de servicios de acceso (*Access Services Network - ASN*)
- Red de servicios de conectividad (*Connectivity Services Network - CSN*)

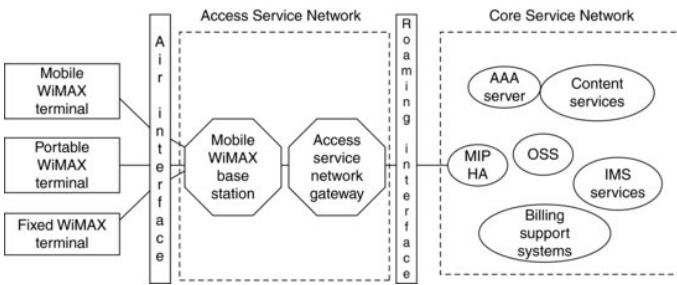


Figura 6. Arquitectura de OFDMA [2].

#### 3.2.1. Estación Móvil

La estación móvil como en otras red conecta al usuario a la estación base o al acceso a la red. La principal diferencia con dispositivos GSM o CDMA es que estos necesitan ser compatibles con IEEE 802.16. También, el dispositivo móvil debe tener funcionalidades como gestión de recursos, gestión móvil, capacidad de ahorro de energía, autorización, autenticación y gestión de sesiones.

#### 3.2.2. Red de servicios de acceso

La red de servicios de acceso conecta el subscriptor móvil al IP *backbone* usando la interfaz aérea OFDMA. Consiste principalmente de dos partes: la estación base y el ASN *Gateway*. Un ASN puede consistir de uno o más estaciones base y uno o más ASN *gateways*.

3.2.2.1. Estación base: un diagrama simplificado de la estación base se muestra en la figura 9. Tiene un módulo de radio frecuencia y un módulo de sistema. En práctica, hay más de un módulo de radio frecuencia en las estaciones base. Ambos módulos están conectados a un cable óptico *Open Base Station Architecture Initiative*

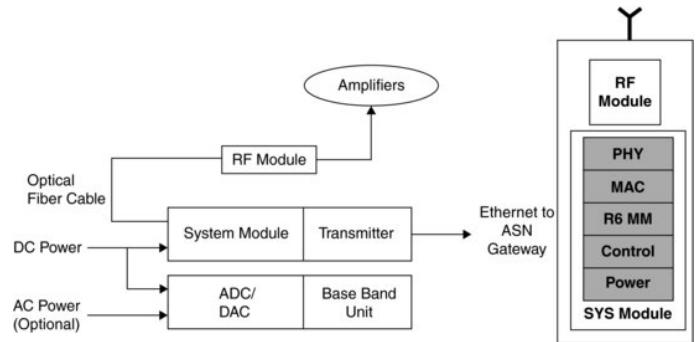


Figura 7. Estación base WiMAX [2].

Como el nombre lo indica, las funciones de radio frecuencia son realizadas por el módulo de radio frecuencia. El módulo de radio frecuencia tiene interfaces hacia el módulo del sistema, energía y sistema de antena. El módulo del sistema es responsable por el control de la estación base y realiza funciones relacionadas a la capa física (transmisión y recepción de símbolos ODFM, control de energía, etc) y la capa MAC (configuración de conectividad, *scheduling*, movilidad, etc).

3.2.2.2. ASN Gateway: como se muestra en la figura 6 es una interface entre ASN y CSN. El ASN *gateway* es una entidad lógica que es responsable de funciones como gestión móvil, por ejemplo, paginación (*paging*), QoS, interfaz de interceptación legal, autenticador, gestión de flujos de datos, etc. La ASN *gateway* realiza principalmente una o muchas de las tareas de plano de control, plano de usuario y *gateway* de servicio y destino.

3.2.2.3. Red de servicios de conectividad (CSN): realiza algunas funciones clave en una red WiMAX. Como el nombre lo sugiere, provee conectividad para las redes externas como Internet, PLMN y otras. También proporciona políticas de control para voz y VPN. Es también responsable de gestión de direcciones IP (DHCP, AAA, etc) y localización, además de gestión de movilidad entre los ASNs. El CSN es también responsable de la gestión de QoS. El CSN contiene dos elementos principales:

- Servidor de autenticación, autorización y bitácora (*Authentication, Authorization and Accounting - AAA*).
- Agente Doméstico (*Home Agent - HA*)

## 4. Li-Fi

Las comunicaciones ópticas son aquellas que usan la luz como el medio de transmisión. La comunicación inalámbrica óptica ha evolucionado como una tecnología complementaria a la radio frecuencia [4] donde se utilizan las ondas en el espectro infrarrojo para la comunicación IP y la luz visible del espectro para comunicación por luz visible(VCL por sus siglas en inglés.) Dada a la habilidad de lo amplio

del espectro aproximadamente unos 670 THz[4] la comunicación inalámbrica óptica tiene el potencial de proveer enlaces inalámbricos con mejores tiempos de transmisión.

Li-Fi también es visto como un sistema digital que traduce el lenguaje mediante pulsos de luz que logran encender y apagar bombillas de LED. Mediante ese parpadeo se pueden crear redes inalámbricas que permitan el acceso a la red en 500Mbs por segundo[4], multiplicando la cantidad de tráfico que permiten las fibras ópticas.

EL concepto busca transmitir datos mediante luz en vez de radiofrecuencias donde los LEDs de cada bombilla se enciendan y se apaguen tan rápido que no puede ser vista por el ojo humano, razón por la cual no generaría un daño a la vista.

#### 4.1. Historia de la comunicación inalámbrica óptica(OWC)

Las líneas de semáforo son unas de las invenciones más antiguas relacionadas con la comunicación inalámbrica óptica donde el ingeniero francés Claude Chappe construye la primera telegrafía óptica en 1792[4] donde, las torres de semáforos permitían la transmisión de 196 símbolos de información codificados en la posición de dos brazos conectados por una barra transversal. También se tiene el primer telégrafo solar sin hilos que señalaba destellos de luz solar girando un espejo o interrumpiendo el haz con un obturador. También en tiempos de guerra, después de la invención del código Morse en 1836 los buques de la Armada se comunicaban a través de una lámpara de señal con los faros en tierra para poder navegar. Para 1880 de la mano de Alexander Graham Bell se logra demostrar la primera implementación de un enlace óptico de espacio libre en la forma de un fotón[4]. Bell fue capaz de modular mensajes de voz sobre una señal luminosa. Los más recientes avances en la tecnología de OWC ganaron fuerza después de la demostración de Gfeller y Bapst en 1973[4]. Ellos pudieron mostrar el potencial del OWC para las redes internas de alta capacidad que prometían anchos de banda dentro del espectro óptico para una señal de voz sobre una señal luminosa. Otra rama de OWC se centra en las redes inalámbricas móviles de interior donde se usaban LEDs como transmisores dando origen a una rama emergente dentro del campo de la OWC llamada Li-Fi (*Ligh Fidelity*) de la mano de Harald Haass en 2011[4].

Hasta la fecha, la investigación en el campo de OWC se ha centrado en implementaciones exitosas de las conexiones de enlace físico y pruebas de concepto. Sin embargo, para la realización de un sistema de comunicación móvil, se requiere una solución de red completa. Esto es lo que se conoce como Li-Fi: la red, móvil, de alta velocidad que forma parte de una rama dentro de las soluciones OWC.

La visión que se tiene es que una red inalámbrica Li-Fi complemente las redes inalámbricas RF heterogéneas existentes, permitiendo que los sistemas de fidelidad celular e inalámbrica (Wi-Fi) descarguen con una parte significativa del tráfico de datos inalámbricos.

#### 4.2. ¿Cómo funciona Li-Fi?

Se utiliza luz led para poder transmitir señales inalámbricas que llevan los datos donde se codifica la información

basada en las frecuencias de la luz LED, la velocidad de la transmisión tiene una relación directa con los colores de las luces pues, si esta más lejano al blanco más rápida será la transmisión pues hay un mayor espectro de frecuencia para ser utilizado. Para poder transmitir información hacia la internet es necesario conectar la bombilla LED con Li-Fi a un enrutador conectado a la red donde, el transmisor de Li-Fi está listo para enviar información, se necesita tener un receptor con Li-Fi instalado de forma tal que el ciclo de transmisión se logre cerrar.

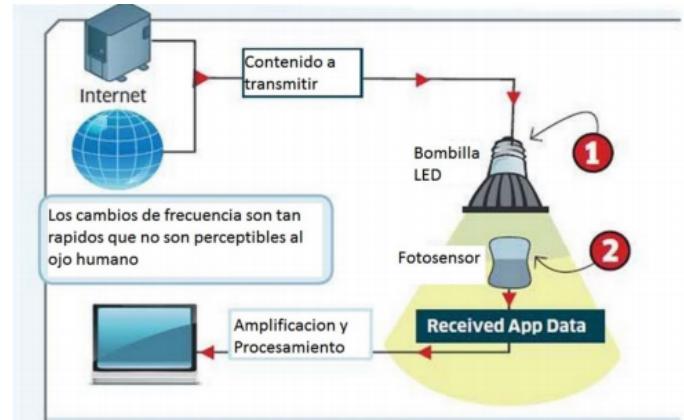


Figura 8. Funcionamiento de Li-Fi [5].

Li-Fi a diferencia de Wi-Fi hace uso de una menor cantidad de dispositivos, razón por la cual su instalación es más sencilla y eficiente. Utiliza lámparas de LED donde el cambio de luz no es casi visible para el ser humano donde las ondas de luz son las que se usan para transmitir los datos, del lado de la bombilla es necesario instalar un modulador encargado de variar la onda de la señal para que la misma sea enviada. Como elemento de recepción se usan foto-receptores que son capaces de captar la variación de la intensidad de la luz y convertirlos en corriente eléctrica. En la figura 9 se puede ver de forma general los bloques que componen a un transmisor y un receptor donde el canal óptico de transmisión es mostrado, incluyendo diferentes rayos de luz y los objetos reflectados.

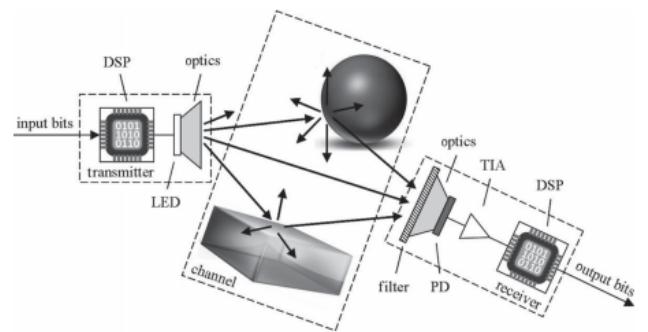


Figura 9. OWC vinculo de transmisión. [4].

Algunas normas para la tecnología Li-Fi son muy similares a la WiFi por ejemplo, Li-Fi usa protocolos parecidos a IEEE802.11 con la diferencia que la comunicación la entabla por medio de la luz visible y que además tiene un ancho de

banda mucho mayor que el WiFi que hace uso de ondas de radiofrecuencia.

El protocolo de comunicación de luz visible establecido por la IEEE802 define la capa física y la capa de control de acceso donde es capaz de ofrecer la velocidad necesaria para la transición de servicios de audio y vídeo tomando en cuenta variables como la transmisión óptica, la interrupción de otras luces artificiales y la luz ambiente.

#### 4.3. Ventajas y desventajas de Li-Fi

La ventaja del uso de Li-Fi es que esta tecnología puede ser utilizada en diferentes ambientes como aviones pues no interfiere con señales durante el vuelo. Puede ser mas barato que WiFi al implementar pocos elementos, es demasiado rápido al transmitir datos, no requiere la autentificación de usuario pues la transmisión se hace de forma directa. Mientras que se alumbría con la bombilla se recibe internet de forma tal que con la misma energía y el mismo producto se hacen dos cosas distintas al mismo tiempo.

La mayor desventaja es el reducido alcance a diferencia de WiFi además, es una tecnología reciente que necesita ser madurada, en el mercado no existen bombillas que sean receptoras de Li-Fi y no trabaja bien con interferencia de luz solar, solamente con la generada por la bombilla.

### 5. CONCLUSIÓN

Las interconexiones requieren protocolos que sean cada vez mas comunes donde es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan el avance de las redes y las telecomunicaciones. Los desarrolladores de software y hardware necesitan asegurar que sus productos sean compatibles entre si y que existan mecanismos de comunicación eficientes para soportar la demanda de datos. Tecnologías como Li-Fi, Wi-Fi y WiMAX permiten que el desarrollo de las telecomunicaciones aumente y que el acceso a la red sea mucho mas facil.

### REFERENCIAS

- [1] H. Davis. *Absolute Beginner's Guide to Wi-Fi Wireless Networking*. Que. ISBN: 0789731150. Abril, 2004.
- [2] A.R. Mishra. *Cellular Technologies for Emerging Markets: 2G, 3G and Beyond*. John Wiley and Sons. ISBN: 9780470779477. Agosto 2010.
- [3] Wikipedia. IEEE 802.11. Disponible en [https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)
- [4] S. Dimitrov,H. Haas . *Principles of LED Light Communications towards networked Li-Fi*. Cambridge University. June 2015.
- [5] E. Aravena . *Desafíos de las nuevas tecnologías: un análisis a Li-Fi y otras tecnologías*. Universidad Técnica Federico Santa María. Septiembre 2013.



**Martín Flores** es Ingeniero en Informática de la Universidad Nacional. Actualmente, realiza sus estudios de Maestría en Ciencias de la Computación del Tecnológico de Costa Rica. Sus principales intereses son: lenguajes de programación, ingeniería de software y *DevOps*.



**Priscilla Piedra** es Ingeniera de Computación del Tecnológico de Costa Rica. Actualmente es estudiante del programa de Maestría en Ciencias de la Computación en la misma universidad. Sus principales intereses son: *cloud computing* y automatización.