

LIFI Y MÁS ALLÁ: REDES DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA SOBRE LA INFRAESTRUCTURA URBANA DE ILUMINACIÓN

Rafael Pérez Jiménez

Instituto Universitario IDeTIC Universidad de Las Palmas de Gran Canaria
e-mail: rafael.perez@ulpgc.es

Resumen

La irrupción de las redes de iluminación LED ha propiciado, entre otras cosas, la posibilidad de usar estas lámparas no sólo como luminarias, sino también como sistemas de transmisión de datos en un concepto que podemos llamar *illumication* (iluminación+comunicación). Esta ponencia trata de mostrar el estado actual de desarrollo de estas tecnologías y sus posibilidades de aplicación en el entorno urbano.

1 Introducción

La comunicación óptica inalámbrica (OWC, por sus siglas en inglés *Optical Wireless Communications*) es el conjunto de técnicas que estudia la transmisión de la información con ayuda de pulsos de luz y consta de tres subbandas: infrarrojo cercano, que operan en el rango de las longitudes de onda entre 750 y 1600 nm, la banda de luz visible que opera entre 390-750nm y la banda ultravioleta que opera en el Banda de 200-280 nm. La comunicación dentro del espectro visible se conoce como *Visible Light Communications* o VLC y ha sido hecha factible por la aparición de los diodos emisores de luz (LED) que se han convertido en la tecnología dominante de iluminación a día de hoy, debido a consideraciones como su alta eficiencia energética y durabilidad. Como caso particular de estas últimas, cuando se trata de usar las luminarias como sistemas transmisores de comunicaciones, lo que sería un ejemplo de tecnología de doble uso, se hablaría de *illumication* (iluminación+comunicación).

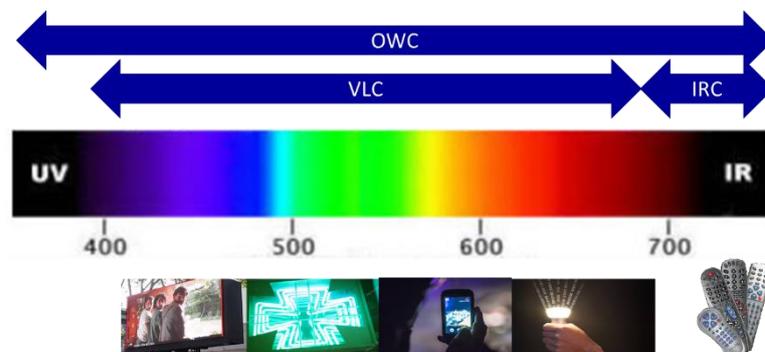


Ilustración 1. Sistemas OWC y VLC

Esta tecnología ofrece un nuevo paradigma de comunicaciones en un mundo que está experimentando una revolución en el área de la energía. El concepto de VLC promete toda una serie de ventajas, como son:

Enlaces inalámbricos en una amplia gama de velocidades de transmisión
Fácil implementación, permite la flexibilidad para obtener datos en cualquier lugar donde existe una infraestructura de iluminación
Permite ampliar el número de usuarios en una red al ser compatible con los sistemas radio convencionales
Son sistemas seguros tanto para los datos como para el usuario
La electrónica en que se basan estos circuitos entra dentro de la categoría de COTS (Components off-the-shelf, o comercialmente disponibles) y por tanto su coste de implementación es reducido.

Actualmente, los dispositivos LED se hallan presentes de manera ubicua: luminarias, lámparas indicadoras, la mayoría de las pantallas alfanuméricas, cámaras, mandos a distancia, iluminación interior en vehículos o aeronaves, indicadores de señalización y ayuda, vallas publicitarias, indicadores de freno o faros de automóviles, iluminación subacuática, etc. Esta larga lista de aplicaciones de las lámparas de estado sólido LED se debe a su gran eficiencia energética ya que consumen menos energía y generan menos calor, lo que permite reducir su consumo de energía en un 80% frente a otras alternativas, además de tener más tiempo vida útil, están libres de mercurio y tienen la capacidad para trabajar en ambientes muy diversos (desde iluminación en interiores a minas o estanques). Se prevé que su eficacia luminosa rondará los 200 lúmenes/vatio para el año 2020 [1]. Además, lo que permite a estos elementos ser usados en sistemas de comunicaciones es su gran velocidad de conmutación, que para algunas tecnologías de LED como Microled, Multichip RGB o RC LED permite superar ampliamente, al menos en teoría, el Gb/s de datos [2-7]. También se ha propuesto como alternativa el uso de F-CD, un nanomaterial de carbono fluorescente que resulta más seguro y rápido.

2 OWC, VLC y LiFi en la SmartCity

El concepto de sistemas de comunicaciones ópticas no guiadas o OWC es muy amplio y comprende una amplia serie de aplicaciones y entornos de uso, como describe la Ilustración 2. Comprende tanto sistemas en interiores como en exteriores, y dentro de estos últimos, en los que nos centraremos por su mayor interés en el entorno urbano, aplicaciones que van desde los enlaces punto a punto de alta velocidad, conocidos como sistemas FSO (por *Free Space optics*), a las redes entre vehículos (V2V) o las que conectan estos con la infraestructura urbana (V2I). También se incluirían las que proporcionan servicios de alta velocidad al usuario (bajo los estándares VLC de alta velocidad, de los cuales LiFi es uno de los más conocidos) y las que permiten la conexión de sensores de baja/media velocidad,

usando alternativas como la conexión a través de cámaras (OCC), por ejemplo, usando las instaladas para redes de vigilancia o tráfico. Finalmente, en algunos casos se pueden considerar incluso sistemas sumergidos dentro de lo que se conoce como UWOC (*Underwater optical communications*) para el control de instalaciones de aguas residuales etc.

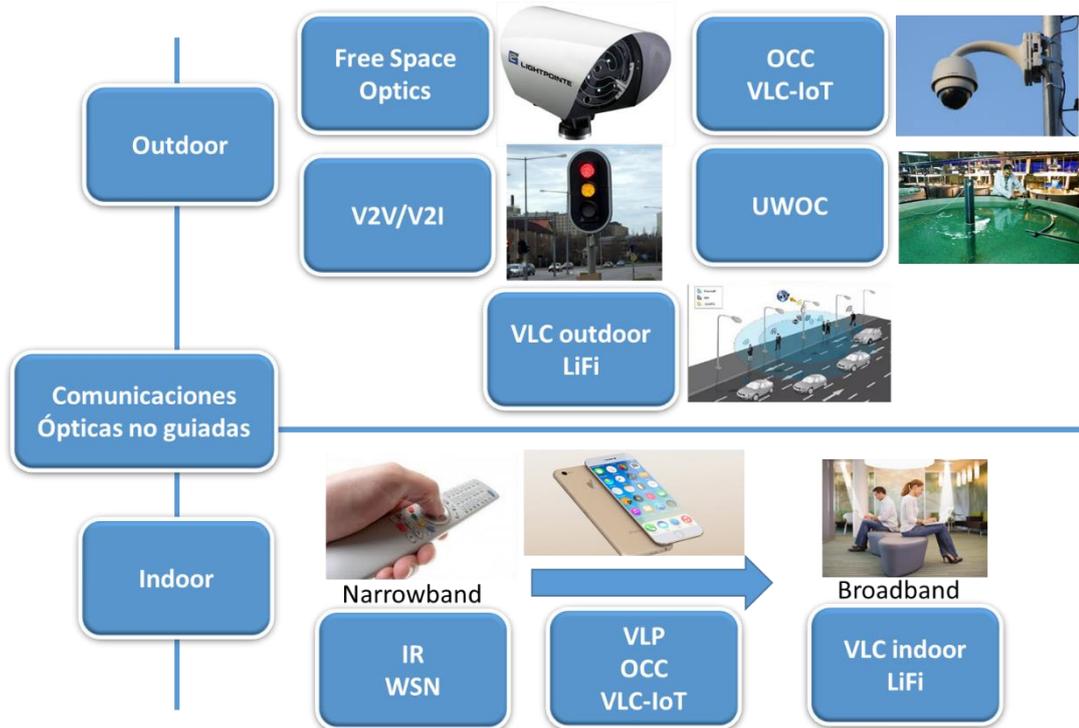


Ilustración 2: tecnologías y entornos de aplicación de los sistemas OWC

3 Redes VLC en el entorno urbano

Para usar sistemas VLC en entorno urbano deben atenderse ciertas consideraciones: en primer lugar, en función de la velocidad que se desee deberá fijarse la infraestructura a utilizar. Por ejemplo, si se trata de luminarias de alta potencia y se pretende dar acceso a internet debería estudiarse el acceso de datos a la lámpara y la adaptación al formato de señal que pueda entregar el *driver*. En general, se usan sistemas IM/DD (modulación por intensidad y detección directa) sobre el que se usa un formato de modulación de datos. El estándar Li-Fi [8] usa modulaciones OFDM similares a las que se emplean en televisión digital terrestre (TDT) o en redes WiFi, lo que puede implicar un mayor consumo y una severa pérdida de eficiencia energética en la luminaria. Sin embargo, otro tipo de

modulaciones (en general, todas aquellas que se basan en realizar un encendido-apagado de la lámpara, como OOK, PWM o PPM) proporcionan un mejor rendimiento eléctrico aun a costa de una menor eficiencia espectral. En estos casos también hay que implementar un sistema receptor, normalmente basado en un fotodiodo tipo PIN, y de los que se encuentran ya algunas opciones de conversores para smartphone (véase Ilustración 3). El radio de cobertura en este caso viene limitado por la necesidad de alcanzar una relación señal a ruido suficiente

Si se trata de enlaces de menor velocidad (por ejemplo, las necesarias para redes de sensores o aplicaciones de internet de las cosas) el proceso es más simple y el consumo eléctrico es menor. En este caso, además del fotodiodo, puede considerarse la posibilidad de usar como receptor una cámara convencional (siendo entonces denominados sistemas OCC), normalmente de tipo RS, como las que llevan integradas las cámaras de la mayoría de los *smartphone* comerciales.



Ilustración 3: ejemplos de adaptadores VLC para smartphones y ordenadores (información proporcionada por © PureLiFi)

Los sistemas OCC permiten, mediante técnicas de procesado, ir más allá de lo que se obtendría con la mera captura de *frames* de imagen. Sobre ellas pueden aplicarse otras técnicas de modulación como las basadas en espacio de color o en sistemas WDM. En todos los casos, los dispositivos ópticos que se usen como emisores deben respetar las normas básicas de seguridad ocular y ergonomía (evitando fenómenos de *flickering* y permitiendo la regulación de potencia emitida *-dimming-* o incluso de temperatura de color emitida). También es necesario considerar un canal de subida para el acceso, que en general será de menor velocidad y que podría utilizar emisores radio o bien diferentes longitudes de onda a las empleadas en el canal de bajada. Además, en el diseño de la red debe tenerse en cuenta su integración en las redes convencionales, lo que obliga a la implementación de esquemas de redes heterogéneas o *Hetnets*. La Ilustración 4 muestra los principales estándares que se están desarrollando para este tipo de comunicaciones.

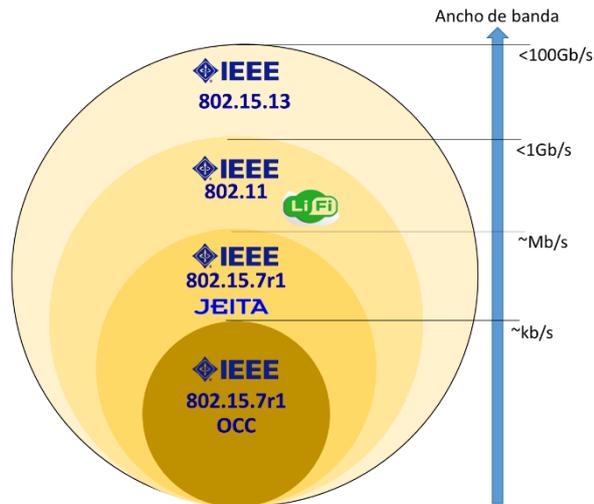


Ilustración 4: Principales estándares en sistemas VLC

4 Algunos ejemplos de aplicación

Yendo de menos a más en velocidad requerida de datos y nivel de complejidad, una de las aplicaciones que mayor atención está recibiendo desde las empresas es el uso de sistemas LED como balizas para sistemas de localización, bien en interiores, bien en zonas abiertas iluminadas. En ese caso cada punto de luz se convierte en una baliza, identificada normalmente con un identificador unívoco y geolocalizada, de forma que el receptor (un fotodiodo o la propia cámara del móvil). Phillips desarrolló una aplicación pionera para Carrefour, mientras otras empresas de servicios comerciales como Acuity Brands lo están incorporando a sus propuestas.

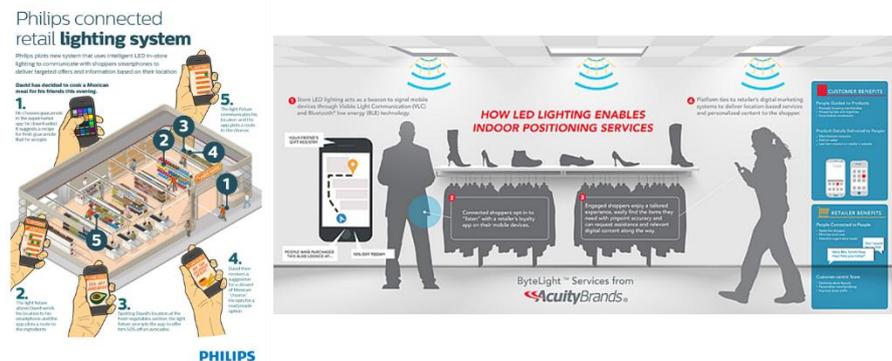


Ilustración 5: Propuestas comerciales de sistemas VLP (© Phillips, © Acuity Brands)

También puede usarse el smartphone como guía en un museo (ilustración 6), bien mediante una aplicación ad-hoc, bien mediante un flujo bidireccional de datos que, si se basa en sistemas ópticos tiene la ventaja de saber exactamente que está mirando el usuario, lo que permite dar una información más personalizada y mucho más precisa, permitiendo incluso realizar juegos interactivos y mejorar la sensación de usuario para grupos infantiles o si se introducen procesos de gamificación. Se puede basar bien en un punto de luz (de iluminación o de señalización) al que se enfoca directamente el móvil, o bien se recibe la luz reflejada por el objeto.



Ilustración 6: Propuestas para el uso de OCC en museos

Uno de los aspectos clave del sistema es hacer llegar los datos a la luminaria en el formato adecuado. Un aspecto interesante es la conjunción con los sistemas PLC, que ha encontrado aplicaciones en la gestión de carga, lectura automática de contadores (AMR), datos de propósito general, recuperación ante desastres, y la comunicación entre terminales, columna vertebral del concepto de red inteligente. En ella, el acoplamiento del nodo PLC y VLC (ilustración 7) permite a la vez proporcionar potencia para la iluminación y comunicación inalámbrica de datos desde el haz de luz visible, y es una buena opción para la iluminación inteligente en alumbrado público, parques, viviendas, cartelería, etc. Ambos sistemas podrían proporcionar una tasa de datos relativamente alta sin más limitaciones que la capacidad de las líneas eléctricas y la velocidad del LED. Aunque comercialmente cada sistema ha madurado independientemente, existen importantes sinergias entre ellos.

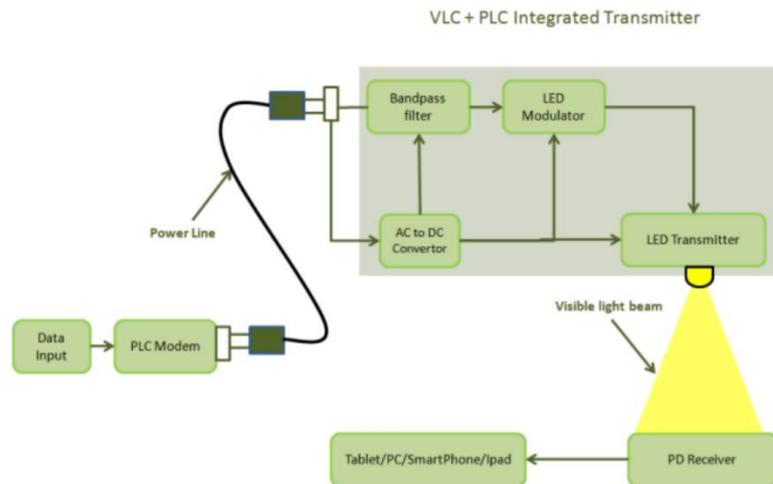


Ilustración 7: Propuesta de sistema combinado VLC-PLC

Finalmente, ya se ha mencionado como una de las aplicaciones principales todo lo relacionado con las comunicaciones vehiculares, bien para coches que circulan en *platooning*, bien para interconectar la infraestructura. Si bien los enlaces radio tienen la ventaja de no requerir visión directa, un enlace punto a punto óptico (de un semáforo a un coche, o desde los pilotos de freno de un vehículo al que le sigue) tiene importantes ventajas como una drástica disminución de la latencia, además de permitir no añadir una sobrecarga adicional a las bandas del espectro radioeléctrico. Dependiendo de la velocidad requerida el receptor podrá ser un fotodiodo convencional o una cámara. Ya se están desarrollando diversas propuestas tanto por fabricantes de vehículos como Renault, Ottokar o Toyota, así como de luminarias para coches, tales como Osram o Farba en ese sentido

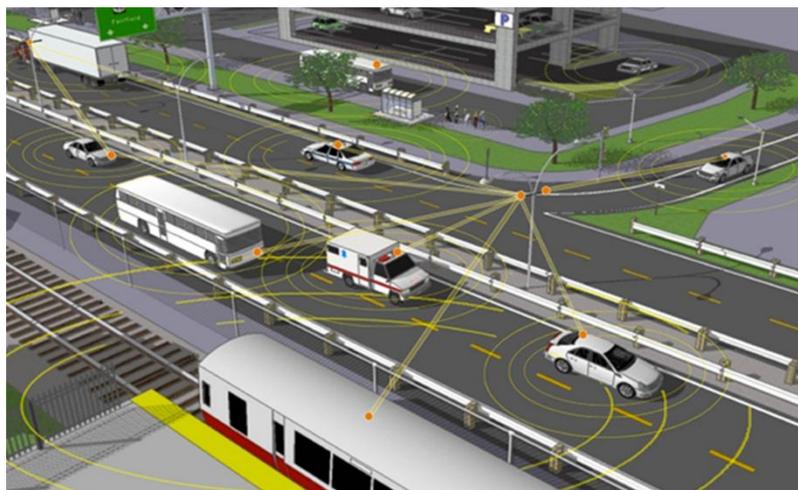


Ilustración 8: Propuesta de sistema VLC para vehículos

5 Conclusiones

En los últimos años, los sistemas ópticos no guiados han aparecido como una alternativa a los sistemas convencionales en numerosos campos de aplicación. La transmisión mediante dispositivos luminiscentes (definición que en este caso incluiría, además de lámparas de iluminación o de señalización con tecnología de estado sólido, las pantallas OLED, o los sistemas de fibra de polímero) es una *enabling technology* que abre multitud de nuevas aplicaciones. Esta tecnología no sólo ofrece un amplio ancho de banda sin regular, lo que permite una alternativa frente a algunas bandas de radiofrecuencia ya muy saturadas, sino que usa una infraestructura ya existente en viviendas, vehículos u oficinas. A consecuencia de esto se ha producido la eclosión de distintas iniciativas tanto normativas como empresariales o científicas.

Los entornos de Ciudad o Territorio Inteligente son una de las grandes apuestas que están abordando numerosas administraciones regionales y locales. Dentro de ellas la mejora del transporte es una de sus áreas prioritarias de aplicación. La tecnología óptica no guiada es una propuesta de uso transversal que tiene ya un amplio desarrollo científico y normativo, sumado a un creciente desarrollo comercial y un enorme nivel de aplicabilidad en el campo de las *SmartCities*. Si bien las propuestas que han realizado los comités de estandarización (como JEITA o el IEEE 802.15.7r1) ofrecen un marco de trabajo, su implantación práctica aun constituye un reto tecnológico con un amplio recorrido para la propuesta de nuevos modelos de modulación, codificación, acceso múltiple, etc.

La posibilidad de utilizar sistemas de comunicación por luz visible (VLC) y de comunicaciones que usen cámaras convencionales como receptores (OCC) en comunicaciones vehiculares, si bien ha sido objeto de atención por numerosos autores y empresas, aún está lejos de ser una alternativa comercial. Hay un gran interés en el uso de los sistemas de iluminación en carreteras y vías urbanas (señales, luces en túneles, semáforos) como un *grid* para ofrecer información a vehículos y en el uso del faro del vehículo como elemento emisor. Por otro lado, la normativa de transporte de EE.UU. prevé la obligatoriedad de introducir cámaras en los vehículos de nueva fabricación a partir de 2018, lo que permitiría dar soporte a nuevas aplicaciones OCC.

Referencias

[1] United States Department of Energy. Energy Savings Forecast of Solid-State Lighting in General Illumination Applications. [Online]. Available:

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/energysavingsforecast14.pdf>

[2] P. Haigh, Z. Ghassemlooy, S. Rajbhandari, "Exploiting Equalization Techniques for Improving Data Rates in Organic Optoelectronic Devices for VLC", *Journal of Light wave Technology*, vol. 30, issue 9, pp. 3081-3088.

- [3] P. Haigh, Z. Ghassemlooy, L. Papakonstantinou, "1.4 Mb/s White Organic LED Transmission System using Discrete Multitone Modulation", IEEE Photonics Technology Letters, vol. 25, issue 6, March 2013.
- [4] G. Pang, T. Kwan, C.-H. Chan, and H. Liu, "Led traffic light as a communications device," in IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 788-793, Tokyo, Japan, 1999.
- [5] S Miyazaki, T K Matsushima, S Yamasaki and K Ohmura, "A Visible Light Communication System Using Optical CDMA with RGB multichip LED", 15th International Symposium on Communication and Information Technologies (ISCIT), , pp 101-104, 7-9th October 2015.
- [6] A Yang, Y Wu, M Kavenhrad and G Ni, "Grouped Modulation Schemes for LED Array Module in a Visible Light Communication System", IEEE Wireless Communication, vol. 22, issue 2, pp 24-28.
- [7] C.L. Tsai and Z. Xu, "Line-of-Sight Visible Light Communications with InGaN-Based Resonant Cavity LEDs", IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 25, no. 18, September 15, 2013.
- [8] Li-Fi standard, información accesible en innovacionli-fi.blogspot.com/p/normas-del-lifi.html