

## APLICACIONES DE LOS SISTEMAS VISIBLE LIGHT COMMUNICATIONS EN EL SECTOR TURÍSTICO: POTENCIALIDADES Y RETOS

**Carmen Lidia Aguiar Castillo:** investigadora FPI en el Instituto Universitario IDeTIC de la ULPGC. PCT Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, e-mail: [laguiar@idetic.eu](mailto:laguiar@idetic.eu).

**Victor Guerra Yáñez:** investigador en el Instituto Universitario IDeTIC de la ULPGC. PCT Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, e-mail: [vguerra@idetic.eu](mailto:vguerra@idetic.eu)

**Petra de Saa Pérez:** Catedrática de Universidad en el Departamento de Economía y Dirección de Empresas, subdirectora del Instituto Universitario IDeTIC de la ULPGC. PCT Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, e-mail: [petra.desaaperez@ulpgc.es](mailto:petra.desaaperez@ulpgc.es).

**Rafael Pérez Jiménez:** Catedrático de Universidad en el Departamento de Señales y Comunicaciones, Director del Instituto Universitario IDeTIC de la ULPGC. PCT Tafira, 35017 Las Palmas de Gran Canaria, e-mail: [rperez@idetic.eu](mailto:rperez@idetic.eu) // [rafael.perez@ulpgc.es](mailto:rafael.perez@ulpgc.es).

Resumen—En este trabajo exploramos las aplicaciones potenciales de las comunicaciones de luz visible en la industria del turismo, considerando enlaces de alta velocidad (sistemas interiores que usan LED o eventualmente láser) o servicios de baja velocidad (que usan receptores VLC clásicos o sistemas basados en cámaras -OCC-). Hemos realizado una encuesta con un panel de expertos para descubrir ventajas, desafíos, posibles desventajas o contribuciones al destino o la imagen de la instalación turística. También hemos explorado las aplicaciones de vanguardia de esta tecnología enfocadas en tres escenarios: el viajero mismo, la instalación turística (hoteles, restaurantes, museos ...) y el destino turístico (la ciudad o territorio donde se encuentra el turista) en su conjunto.

*Abstract*— In this work we explore the potential applications of visible light Communications on the tourism industry, considering high speed links (indoor systems using LED or eventually lasers) or low speed services (using classical VLC receivers or camera-based systems -OCC-). We have made a survey with an expert panel to discover advantages, challenges, possible disadvantages or contributions to the destination or tourism facility image. We also have explored the state-of-the-art applications of this technology focused in three scenarios: the traveler itself, the tourism facility (hotels, restaurants, museums....) and the whole tourism destination (the city or territory where the tourist is received).

### 1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas VLC (Visible Light Communications) forman parte de una tecnología (los sistemas ópticos inalámbricos) que en los últimos años se está popularizando como un medio de comunicación complementario a los sistemas convencionales por radiofrecuencia. Estos se ven cada vez más saturados debido a la creciente demanda de contenidos de alta densidad (*streaming* de video, sistemas de realidad virtual, sistemas de navegación y conducción automática, etc.) y al incremento en la demanda de comunicación en general (por el acceso universal a redes 4G/5G y nuevos paradigmas como Internet de las cosas o los sistemas de procesamiento en la nube). En concreto, los sistemas VLC se basaban inicialmente en el uso de dispositivos de iluminación como proveedores de datos, si bien la tendencia actual ha evolucionado para utilizar cualquier dispositivo luminiscente: anuncios publicitarios, pantallas de teléfonos etc. manteniendo en todo momento la premisa ergonómica de que “una lámpara es ante todo

una lámpara”, esto es, su uso como transmisor no puede implicar oscilaciones en el nivel de iluminación o cambios de tonalidad indeseados en la luz emitida. El uso de comunicaciones VLC ofrece un nuevo canal con gran ancho de banda y sin regulación, que puede combinarse con las alternativas más clásicas (4G/5G, WiFi, fibra óptica, enlaces *Power Line Communications*, *Bluetooth*...) para proporcionar acceso de datos tanto en el interior de edificios, viviendas o inmuebles como en exteriores [1,2].

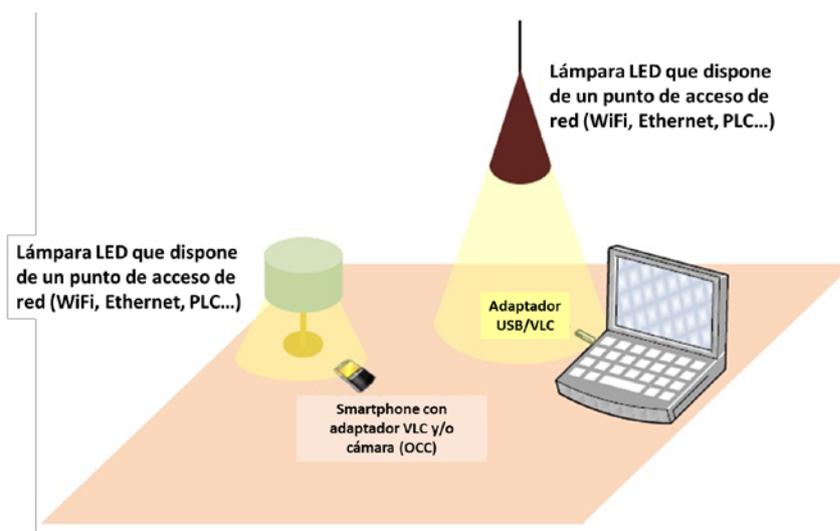


Figura 1: concepto de sistema VLC

Esta disponibilidad de ancho de banda y de medios de acceso adicionales entronca con las crecientes necesidades tecnológicas del sector turismo. De hecho, en las últimas décadas la industria turística se ha diversificado para cubrir una serie de “nichos” para clientes específicos, como pueden ser el caso de los turismo de ecología, salud, aventura, rural, cruceros, agricultura, tribal, deportes, cine, cultura y patrimonio o reuniones, incentivos, conferencias y exposiciones (MICE) que conllevan diferentes retos tecnológicos. La industria turística, además, influye y condiciona diferentes sectores de la economía y la sociedad como son la logística, la seguridad, el transporte, la educación o la salud, todos los cuales, además, son grandes consumidores de tecnologías de la información y las comunicaciones [3].

Además, la demanda de los viajeros y los diversos actores de la industria del turismo se orienta a la necesidad de proporcionar al visitante servicios similares, al menos, a aquellos de los que dispone en su lugar de origen. Esto implica la necesidad de proporcionar un acceso ubicuo a las redes de datos, y la disponibilidad de servicios de valor agregado que van desde la posibilidad de llevar a cabo transacciones económicas seguras, a disponer de sistemas para guiar y monitorear a los visitantes en escenarios culturales o comerciales específicos, o a la posibilidad de prestar atención médica, administrativa o asistencial de forma remota. La incorporación de los modelos de economía colaborativa en el turismo [4] suponen además nuevos retos tecnológicos en entornos tales como el transporte, el alojamiento o la sostenibilidad en el destino. Es significativa, en este ámbito, la aparición de los llamados “nómadas digitales” que seleccionan destinos en función de sus posibilidades de ocio y de sus capacidades de conexión digital para realizar estancias largas sin menoscabo de su actividad profesional. La consecuencia es que las necesidades de nuevos servicios tecnológicos en los emplazamientos turísticos son similares, si no superiores, a las de otras ciudades e instalaciones, lo que ha dado lugar al concepto de "destino turístico inteligente" [5]. Este debe incluir, al menos, el acceso a datos de alta velocidad para proporcionar información de guiado para visitantes independientes, control de entrada y uso seguro de instalaciones, monitorización del estado de conservación de monumentos o edificios arquitectónicamente significativos,

así como del patrimonio urbano, políticas de sostenibilidad (por ejemplo, control de desechos y gestión del agua) y características adicionales, sobre todo referidas a personas con necesidades especiales: niños, ancianos o individuos que padezcan de algún tipo de discapacidad [6]. También se proponen características adicionales como el control de tráfico rodado y de zonas de estacionamiento (y eventualmente, comunicaciones entre vehículos -V2V- o entre estos y la infraestructura urbana -V2I-) o la participación en las plataformas de administración y gobierno electrónico en algunas ciudades [7].

En este trabajo se lleva a cabo un estudio sobre las posibles aplicaciones de las tecnologías VLC en el entorno turístico, identificando posibles nichos de negocios y los desafíos para su implementación. Además de la revisión de resultados y técnicas de diferentes grupos de investigación, se agrega la opinión de un panel de expertos en el desarrollo de estas tecnologías, con el fin de identificar las áreas de mayor impacto potencial a través de una metodología delphi. Por tanto, en el capítulo II, se hace una breve descripción de las soluciones VLC disponibles en el mercado, con especial incidencia en la última solución tecnológica propuesta: los sistemas Optical Camera Communications -OCC- donde el receptor es una cámara convencional, lo que permite la integración de esta tecnología en dispositivos tipo *smartphone* o *tablet*. El capítulo III expone los fundamentos de la metodología utilizada, así como los resultados de las entrevistas y cuestionarios, resultados que se analizan en el contexto de las soluciones tecnológicas disponibles. Finalmente, se muestran algunas conclusiones y trabajos futuros que se desarrollarán en esta área.

## 2. PANORAMA GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS VLC PARA LA INDUSTRIA DEL TURISMO

Como se ha mencionado previamente se contemplan, dentro de las tecnologías que permiten conectividad inalámbrica, y como una alternativa más, el uso de sistemas ópticos. Estos comprenden los sistemas basados en el espectro infrarrojo (IR) y los que usan luz visible (VLC). Todos ellos tienen en común usar un espectro no regulado, sin limitación en cuanto al ancho de banda utilizable y sin más restricciones de uso que las que impone la seguridad ocular de los posibles usuarios, y todos usan como emisores un dispositivo luminiscente (una lámpara, el faro de un coche, la pantalla de un móvil...). El receptor podrá ser un sensor óptico (fotodiodo) o una cámara convencional (OCC)[8]. A la hora de contextualizar este trabajo, se han definido tres posibles escenarios tecnológicos: aquellas que actúan directamente sobre el turista, las que lo hacen en el entorno del recurso turístico (hotel, restaurante, parque temático, puerto o aeropuerto, crucero, museo o área patrimonial, etc.) y las que actúan de forma global sobre el destino turístico, entendido como la totalidad de una ciudad o un territorio específico (una isla, un parque nacional, etc.). Esto se muestra en la figura 2.

En el caso del visitante, se consideran aplicables la mayoría de los conceptos de sistemas ópticos inalámbricos dedicados a redes de área personal (PAN o, en este caso, *Tourist Area Network*) y sistemas de localización, además de las tecnologías que permiten el acceso a redes de datos de alta velocidad, ya sea en interiores o exteriores, incluso permitiendo sistemas compatibles con las nuevas redes 5G. Con respecto a las instalaciones turísticas, el interés también iría a los sistemas de “ubicación”, pero incluyendo ahora la monitorización de personas, especialmente las más sensibles a los problemas de seguridad o que tienen requisitos especiales de asistencia (niños, ancianos, enfermos) en entornos como parques temáticos de ocio o en instalaciones de turismo de bienestar [9].

Para el público en general, el seguimiento turístico tiene su mayor entorno de aplicación en los sistemas de Gestión de la Relación con el Cliente (CRM), dentro de los paradigmas de marketing SoCoMo (*Social-Context-Mobile*) [10], que se define como un nuevo marco que permite a los vendedores aumentar el valor para todos los interesados en el destino a través del uso de información contextual. Esto es cada vez más relevante ya que los grandes volúmenes de datos recopilados por distintos modelos de captura de información (desde sensores a cámaras, pasando por la actividad en redes sociales o el uso de medios

electrónicos de pago) dentro de un destino inteligente proporcionan información en tiempo real que puede influir en la experiencia turística. Esta idea se resume en la figura 3, donde todos los dispositivos conectados (incluidos los sistemas VLC) y la actividad diaria del turista (interactuando con varios sensores IoT y cargando y descargando información de las redes sociales y los medios de comunicación...) se procesan como *big data* para brindar a los interesados en turismo información valiosa sobre su comportamiento, preferencias y respuestas a los estímulos comerciales. Estas aplicaciones también son especialmente interesantes para ser utilizadas en entornos como la orientación y la gestión de la información en museos, áreas comerciales e instalaciones culturales, donde la direccionalidad de los enlaces ópticos se convierte en una ventaja al discriminar con qué obra de arte expuesta interactúa el usuario o qué tipo de productos le atraen en una tienda.



Figura 2. Niveles de definición de entornos de aplicación: redes personales, sistemas en instalaciones concretas y redes de área extensa.

Se han verificado también experiencias de uso de sistemas VLC para permitir el *check-in* automático en hoteles, donde la pantalla del teléfono móvil actúa como emisor de una "clave" para el sistema de acceso verificado a la habitación del hotel [11], lo que reduce el tiempo de recepción (y el coste) tanto para el turista como para el hotel. También se ha propuesto para extraer información de paneles gráficos (por ejemplo, en aeropuertos o áreas comerciales) y para sistemas de transmisión inalámbricos seguros, evitando problemas de detección de datos como los presentes actualmente en las tarjetas *contactless* basadas en radiofrecuencia (RF). En general, el uso combinado de los sistemas OCC y VLC puede incluirse en la gestión general de IoT, redes basadas en sensores en instalaciones turísticas [12-13], combinadas o no con sistemas de RF dependiendo de si existen requisitos de compatibilidad electromagnética que evitan el uso de redes de radio convencionales, o si simplemente se necesita para expandir el ancho de banda disponible, incluidas otras áreas del espectro.

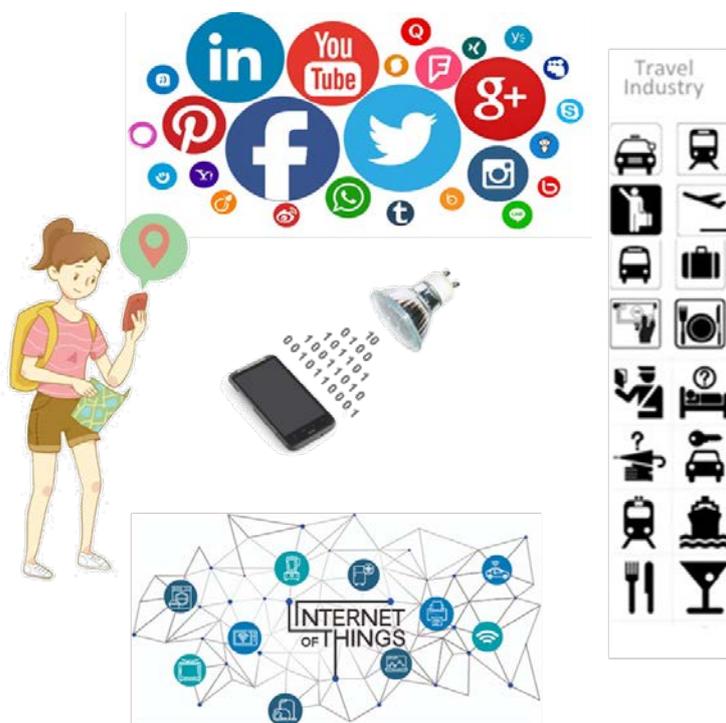


Figura 3. Concepto de SoCoMo. Todas las fuentes de información de texto (incluidos los sistemas VLC) se procesan a gran escala para brindar a los interesados en turismo una retroalimentación sobre su comportamiento, preferencias y respuestas a los estímulos comerciales.

## 2. METODOLOGÍA

Las entrevistas con expertos son un instrumento de recopilación de datos esencial, pero metodológicamente poco utilizado en la investigación sobre evaluación de tecnologías. Estos procesos suelen centrarse más en resultados cuantitativos, ya que son más fáciles de explotar políticamente o como publicidad efectiva, y permiten la comparación con otros programas o políticas [12]. Por otro lado, la evaluación por expertos es valiosa cuando realizar una medición cuantitativa de forma objetiva es imposible o simplemente poco apropiada. Por eso, según Abels y Behrens [13], las entrevistas con expertos son "de vital importancia" para la investigación de políticas en el análisis evaluativo. Estas entrevistas tienen ventajas significativas sobre otros métodos de recolección de datos: primero, las preguntas específicas involucrando expertos son la única posibilidad cuando se carece de otras fuentes de datos, o por razones de eficiencia no es posible procesarlas. En segundo lugar, las entrevistas con diferentes expertos bien informados permiten tener en cuenta diversos puntos de vista y revelar posibles áreas de conflicto. Tercero, la entrada de información en el proceso de evaluación se hace más accesible, y la aceptabilidad de los resultados aumenta.

El criterio principal para establecer un grupo de expertos es su capacidad para resolver problemas de investigación de manera confiable y efectiva. La confiabilidad del grupo depende de su dimensión, es decir, del número de expertos, pero también de su composición. Para analizar esta se siguen criterios como su posición dentro de la organización, su relación con el tema de investigación, su experiencia laboral previa en el tema en cuestión, el grado de calidad de los juicios emitidos, su nivel de reconocimiento público y la objetividad de la evaluación presentada [12]. El panel de expertos debería incluir tanto a los encargados de la toma de decisiones como a los meros implementadores. En cuanto al número de expertos

que se considera suficiente, la investigación cuantitativa debería depender de entre siete y diez expertos, mientras que Libakova y Sertakova fijan en cinco el umbral de expertos que puede considerarse como un número suficiente para estudios cualitativos [14,15].

En este trabajo, se formuló un cuestionario que incluía los siguientes aspectos: evaluación de las ventajas y desventajas de la tecnología VLC, se cuestionaba también si estas ventajas contribuían a su implementación, o si, por el contrario, se consideraba que no aporta algo sustancial en comparación con otras ya implementadas. Se inquiría también sobre qué medidas, según los expertos, rentabilizarían la implantación de VLC en el sector turístico en los tres niveles antes descritos: turistas; organizaciones turísticas (hoteles, centros de ocio, recintos naturales etc.) y administraciones municipales y regionales. Adicionalmente, se pidió a los expertos que dieran una opinión razonada sobre cada pregunta de la entrevista. Se seleccionaron diez expertos (E1 a E10) para la encuesta, elegidos en función de su posición y trayectoria profesional, así como en la repercusión de sus trabajos y en la actividad de sus organizaciones. Se consideró también su participación en el desarrollo de políticas de comunicación o la mejora en los niveles académicos y prácticos, así como su experiencia laboral en los campos de investigación y conocimiento. Por lo tanto, la lista inicial de expertos estaba compuesta por algunos de los principales líderes de opinión sobre VLC en Europa: investigadores de diferentes universidades (codificadas como E1 a E7), especialistas de pequeñas y medianas empresas (codificadas como E8 a E9) y especialistas de grandes empresas (E10). Los expertos que respondieron a la encuesta incluyeron también a algunos que participaban o habían participado en comités que estudian protocolos y regulaciones de futuras redes de comunicación a nivel global (E5 y E7).

Aunque el número de expertos que participaron en la encuesta es limitado, debido al pequeño número de grupos realmente significativos que participan en actividades de VLC en Europa, los seleccionados tienen una amplia experiencia en la materia y sus respuestas son precisas y así han podido enfocar adecuadamente la cuestión sin incurrir en generalidades. La participación de las tres categorías principales de expertos (formuladores de políticas, académicos y miembros de empresas) asegura que se identifiquen los intereses de los diferentes estamentos involucrados. Para la recopilación de datos se eligió un método de encuesta semiestructurada, con entrevistas que se realizaron entre el 21 y el 25 de enero de 2019. En una primera etapa se trató de entrevistas abiertas para luego, de acuerdo a sus respuestas, preparar un cuestionario en el que se proporcionó a los expertos una lista de 6 temas que abarcaban desde características tecnológicas hasta sus aplicaciones en diferentes entornos, compilados tanto sobre la base de estudios de investigación como de las propias respuestas a las entrevistas.

Tabla 1: Perfiles en el Panel de Expertos

Experto	Años	Area	Cualificación
E1	14	Ac	PhD. en Telecomunicaciones. Jefe del equipo de Telecomunicaciones y procesamiento de antenas en el Instituto Fresnel en Marsella (Francia)
E2	31	Ac	PhD. en comunicaciones ópticas. Decano asociado de investigación e innovación en la Facultad de Ingeniería y Medio Ambiente, en la Universidad de Northumbria en Newcastle (Reino Unido). Miembro de la Academia china de ciencias.
E3	13	Ac	PhD en tecnología, Profesor titular y subdirector del Departamento de Campos Electromagnéticos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Técnica Checa (CTU), presidente de la rama de doctorado en la misma. (Rep. Checa)
E4	17	Ac	PhD en tecnología. Profesor, Centro de Comunicaciones Inalámbricas, Universidad de Oulu (Finlandia)
E5	34+4	Ac/PM	PhD en fotónica. Catedrático en la Universidad Politécnica de Madrid (UPM, España). Fue miembro del grupo de tareas del <i>Institute of</i>

E6	5	Ac	<i>Electrical &amp; Electronics Engineers</i> (IEEE) encargado de desarrollar el estándar 802.11 sobre redes inalámbricas de área local (WiFi). Ph.D. en Telecomunicaciones por la Universidad de Manchester. Profesor y Secretario General de la Facultad de Ciencias en la Universidad de San Luis Potosí (México)
E7	22+4	Ac /PM	Ph.D. en Física e Ingeniería de la Comunicación. Jefe del Grupo de redes Metropolitanas, Acceso y Sistemas internos en el Fraunhofer-Institute (Berlín, Alemania). Presidente del grupo de tareas del <i>Institute of Electrical &amp; Electronics Engineers</i> (IEEE) encargado de desarrollar el estándar 802.15.13 sobre comunicación inalámbrica óptica multi-Gb/s
E8	17	PYME	Director Técnico y Cofundador de LIGHTBEE (España)
E9	10	PYME	Gerente de Telecomunicaciones en GLOBALAN (España)
E10	5	GE	Supervisor en OSRAM GmbH, Munich. (Alemania)

Donde "Ac" denota actividad investigadora en la universidad, "PM" se refiere a los encargados de *policy making*, "PYME" son pequeñas y medianas empresas y grandes empresas "GE". "Años" se refiere a la experiencia profesional en cada área.

### 3. RESULTADOS DEL ESTUDIO

A continuación, se detallan los contenidos de los cuestionarios presentados en la segunda fase del estudio, a partir de la compilación de las respuestas en la entrevista personal con ellos de contenido libre:

Tabla 2: Propuestas de los expertos

Código	Definición
<b>Ventajas</b>	
A1	Es una tecnología complementaria de RF.
A2	Su alta velocidad de transmisión es adecuada para contenidos pesados.
A3	Presenta alta robustez contra interferencias.
A4	Es una tecnología de doble uso (sistemas de iluminación y comunicación)
A5	Proporciona acceso seguro a la información.
A6	Es una tecnología sostenible debido a su eficiencia energética.
A7	Es una energía sostenible porque genera poco desperdicio.
A8	Es una tecnología valorada por aquellos usuarios que tienen una alta conciencia ambiental.
A9	Es una tecnología que no está regulada.
A10	Es una mejora sobre RF porque RF emite radiación potencialmente peligrosa.
A11	La señal permanece confinada en la habitación donde se emite.
A12	Es una tecnología intuitiva y amigable.
<b>Desventajas</b>	
D1	La señal permanece confinada en la habitación donde se emite.
D2	Requiere una inversión considerable para cambiar la infraestructura del establecimiento.
D3	Requiere cambios en el diseño de la infraestructura del establecimiento.
D4	Requiere que se promueva la tecnología mediante acciones comerciales.
D5	Hasta la fecha hay pocas empresas que comercialicen sistemas VLC.
D6	Sólo existe un número limitado de productos comerciales.
D7	Existe una tecnología que es competencia directa y realiza la misma función de manera efectiva.
D8	Depende mucho de la creatividad de las empresas que generan las aplicaciones finales.

Beneficios tecnológicos

- 
- P1 Permite integrar publicidad en el canal.
  - P2 Permite acceder a fondos de subvenciones de innovación por ser una nueva tecnología
  - P3 Permite presentarla como una valiosa ventaja competitiva en el establecimiento que la utiliza
  - P4 Permite presentarla para diferenciar el establecimiento que lo utiliza como de alta calidad.
  - P5 Permite establecer pagos por información turística de las administraciones que la implementen.

Aportes para mejorar la experiencia turística.

- 
- TI1 Ofrece a los turistas acceso de alta velocidad para realidad virtual.
  - TI2 Ofrece a los turistas acceso de alta velocidad para descargas de videos.
  - TI3 Ofrece acceso turístico de baja velocidad para obtener información en áreas comerciales en diferentes idiomas.
  - TI4 Ofrece a los turistas herramientas de ubicación y posicionamiento en resorts y grandes complejos.
  - TI5 Ofrece a los turistas acceso al *check-in* automático en los hoteles.
  - TI6 Ofrece a los turistas control ambiental y energético a través de la conexión con sensores.
  - TI7 Ofrece a los turistas aplicaciones de pago seguras.

Contribuciones para mejorar la imagen de la organización turística.

- 
- TO1 Da acceso de alta velocidad para sistemas de realidad virtual.
  - TO2 Ofrece acceso de alta velocidad para descargas de video.
  - TO3 Ofrece acceso a baja velocidad para proveer información en áreas comerciales en diferentes idiomas.
  - TO4 Se puede utilizar para procesos de ubicación y posicionamiento en resorts y grandes complejos
  - TO5 Se puede utilizar para el *check-in* automático en hoteles.
  - TO6 Se puede utilizar mediante la sensorización para el control ambiental y energético.
  - TO7 Se puede usar a través de la sensorización para aplicaciones de seguridad perimetral.
  - TO8 Se puede utilizar para aplicaciones de pago seguras.
  - TO9 Se puede utilizar para sistemas de orientación en entornos de ocio y museos.
  - TO10 Se puede utilizar para ofrecer información personalizada en entornos de ocio y museos.
  - TO11 Se puede utilizar para controlar áreas restringidas en los entornos de ocio y museos.

Contribuciones para mejorar la imagen de las áreas y administraciones turísticas municipales y regionales

- 
- TM1 Da acceso de alta velocidad a la realidad virtual.
  - TM2 Ofrece acceso de alta velocidad para descargas de video.
  - TM3 Ofrece acceso a baja velocidad a la información en áreas interesantes en diferentes idiomas.
  - TM4 Proporciona mediciones como la contaminación y los niveles de polen a través de la sensorización.
  - TM5 Se puede usar para aplicaciones de pago seguras
  - TM6 Se puede utilizar para comunicaciones vehiculares en entornos turísticos.

Tabla 3: distribución porcentual de las opiniones de expertos en la evaluación de las ventajas/desventajas de la tecnología VLC

Código	Esta ventaja contribuye a su implementación	Código	Esta desventaja constituye una barrera para su implementación
A1	100%	D1	50%
A2	90%	D2	90%
A3	80%	D3	50%
A4	100%	D4	70%
A5	80%	D5	100%
A6	80%	D6	100%
A7	90%	D7	70%
A8	80%	D8	60%
A9	80%		
A10	40%		
A11	90%		
A12	90%		

La primera ventaja prevista se basa en la compatibilidad, ya que la mayoría de los expertos ven las tecnologías VLC como una tecnología complementaria de soluciones de las soluciones inalámbricas basadas en radiofrecuencia como WiFi, Bluetooth o 4G/5G. Por lo tanto, los sistemas ópticos no guiados no deben considerarse un rival potencial para las tecnologías de radio, sino más bien un complemento en aspectos como el establecimiento de canales dedicados para descargar contenidos pesados, como puede ser el caso del uso de plataformas de distribución de contenidos como NETFLIX® o HBO®) [16,17], o incluso para operar en entornos de Realidad Virtual (VR). Estos sistemas de entretenimiento tienen un interés indudable en entornos de ocio con altos requisitos de ancho de banda como hoteles o *resorts*. En particular, los parques de atracciones o temáticos y los parques son uno de los mayores clientes actuales y potenciales de VR, para lo que proyectos como WORTECS [18] están desarrollando soluciones de acceso inalámbrico rápido y confiable de alta calidad (con enlaces agregados que requieren tasas de bit cercanas a 1 Tb/s). Además, en las instalaciones de hotelerías, la robustez contra las interferencias (sean estas naturales o inducidas por usuarios maliciosos, que pueden pretender bloquear la información enviada por los clientes) permite evitar problemas de compatibilidad electromagnética e interferencia mutua, como los que aparecen cuando múltiples redes operan simultáneamente en un hotel [19], o la interferencia con los equipo de monitorización cuando se habla de turismo asistencial, esto es, personas con dependencia que reciben algún tipo de atención médica (presencial o remota) mientras disfrutan de una estadía en un clima más benigno.

La robustez contra la interferencia o la captura indeseada de información, y el confinamiento de la señal como una fuente de protección frente a estos fenómenos, es uno de los puntos fuertes de los sistemas VLC, especialmente en lo que respecta a la seguridad de los datos [20]. Esto, aunque complica la creación de un sistema de red global para una organización tipo hotel, es algo de gran importancia en lo relacionado con el turismo MICE [21]. Otro aspecto de preocupación para los turistas en general es el de las transacciones seguras con tarjeta de crédito, aplicación en la que se están desarrollando sistemas que utilizan tecnología OCC para evitar la captura de datos, como ocurre con las tarjetas RF *contactless*. La misma definición de sistemas VLC, basada en una tecnología de doble uso que emplea lámparas LED de bajo consumo y alta durabilidad, se traduce en una reducción del volumen de desechos generados, configura a estos sistemas como un apoyo a las políticas de sostenibilidad de los establecimientos turísticos, reduciendo el consumo de sistemas de radiofrecuencia al ofrecer una alternativa a su uso en aplicaciones intensivas como la descarga de contenidos. Otra ventaja que se cita es el posible impacto positivo en la imagen del destino o recurso turístico, ya que se trata de una tecnología innovadora, amigable y fácil de entender, libre de la imagen negativa que en algunos entornos se atribuye a las

emisiones de Los sistemas de radiofrecuencia, y sin regulación, que los potenciales usuarios asociarán a entornos altamente innovadores.



Figura 4. aplicación de *check-in* automatizada basada en dispositivos ópticos para teléfonos inteligentes, desarrollada por LIGHTBEE®, y lámpara para servicio VLC creada por OLEDCOMM®

La pregunta sobre los posibles inconvenientes y desafíos para esta tecnología en la industria del turismo tiene diferentes niveles de acuerdo entre los expertos encuestados. Como se vio anteriormente, el confinamiento de la señal puede verse como un inconveniente o una ventaja según cada caso de estudio. La existencia de una tecnología que puede realizar las mismas tareas no se considera unánimemente como un inconveniente, porque, aunque los sistemas basados en radiofrecuencia proporcionan un acceso casi universal, están a su vez limitados por condiciones legales, técnicas y comerciales, lo que crea nichos de aplicación por su coexistencia con los sistemas ópticos. Por otro lado, la necesidad de una fuerte inversión en la infraestructura del edificio o su diseño se ve como un elemento disuasorio. Por otro lado los expertos apuntan a que las instalaciones turísticas son, en esencia, dinámicas y deberían estar en un proceso de adaptación permanente. El consenso sobre los principales problemas de implementación viene dado por la debilidad de la oferta, dado el pequeño número y la reducida dimensión actual de las empresas proveedoras, la escasez de productos orientados al público realmente disponibles y, en menor medida, por la falta de conocimiento de los *stakeholders* del sector acerca de esta tecnología. Factores como la eficiencia en el consumo de energía también se mencionaron como un factor clave para el retraso de la implementación de enlaces ópticos de alta velocidad [22].

En cuanto a los beneficios potenciales del uso de esta tecnología por parte de los establecimientos turísticos, se considera casi por unanimidad que estas instalaciones podrían optar fácilmente a obtener apoyo financiero de las administraciones para su implementación, ya que es una tecnología emergente, y que esto mejoraría su imagen al permitirles mostrarse como una instalación innovadora y tecnológicamente avanzada. Solo en menor medida los expertos consultados creen que a día de hoy ofrezca una ventaja competitiva real. En cuanto a la mejora de la experiencia turística, el mayor impacto se asigna al uso de sistemas ópticos en la automatización de los procesos de *check-in/check-out*, y al desarrollo de redes de sensorización para mejorar la sostenibilidad de la instalación mediante la aplicación de conceptos de IoT. El acceso a redes de alta velocidad para aplicaciones de transmisión también se considera crucial, aunque todavía no se contempla el uso de soluciones de realidad virtual a nivel masivo. Las aplicaciones de ubicación/guado y las de pago seguro se consideran también potencialmente

interesantes, pero no se considera que sea la "killing app" que introduzca definitivamente la tecnología VLC en este sector.

Tabla 4: distribución porcentual de las opiniones de expertos en la evaluación de la rentabilidad de la inversión en tecnología VLC para la mejora de la experiencia del turista

Código	Esta medida hace que VLC mejore su rentabilidad	Código	Esta medida hace que VLC mejore la experiencia del viajero
P1	100%	TI1	50%
P2	90%	TI2	90%
P3	80%	TI3	50%
P4	100%	TI4	70%
P5	80%	TI5	100%
		TI6	100%
		TI7	70%

Tabla 5: Distribución de expertos según la evaluación de la tecnología VLC para mejorar la imagen de la organización turística y la imagen de las agencias municipales y regionales

Code	Mejora de la imagen de la organización turística.	Code	Mejora de la imagen de las agencias turísticas municipales y regionales
TO1	70%	TM1	60%
TO2	70%	TM2	70%
TO3	80%	TM3	100%
TO4	100%	TM4	80%
TO5	100%	TM5	90%
TO6	80%	TM6	100%
TO7	90%		
TO8	90%		
TO9	100%		
TO10	90%		
TO11	80%		

El conjunto final de preguntas se refiere al potencial de la tecnología VLC para mejorar la imagen de la organización turística (hotel, parque temático, infraestructura de transporte, etc.) o las administraciones de gestión de destinos turísticos (ciudades, territorios, etc.). Los expertos sugieren unánimemente como las medidas más efectivas aquellas que permiten mejorar la gestión de *front-end* en hoteles (por ejemplo, el *check-in* automático) y las ayudas de navegación interna (ubicación, seguimiento, etc.) como apoyo a los sistemas de marketing basados en contexto, atención a personas con necesidades especiales o dentro de entornos específicos como pueden ser museos y recintos culturales. La capacidad de sectorizar fácilmente la comunicación, compartiendo diferentes transmisores en una estructura intrínsecamente celular, permite personalizar la información para diferentes usuarios en diferentes idiomas o con diferentes niveles de complejidad. Un aspecto que también se destaca en términos de destinos turísticos es el soporte de información para vehículos a través de la infraestructura urbana (semáforos, farolas o anuncios publicitarios en la calle), como soporte adicional para soluciones complementarias a las que ahora mismo se desarrollan basadas en redes 4G/5G.

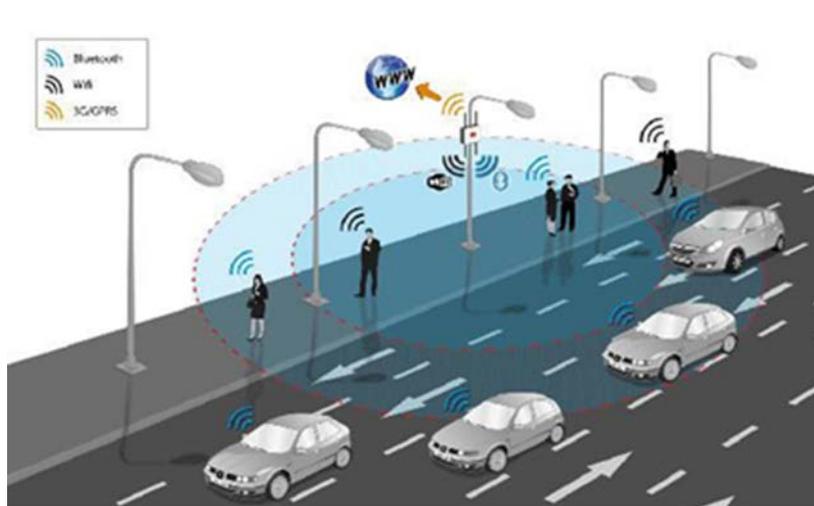


Figura 4: propuestas para la integración de redes VLC y 5G

Una fortaleza potencial de este tipo de enlaces es permitir la comunicación en aquellos entornos en los que es difícil, por razones técnicas o regulatorias, tener acceso a las redes por medios convencionales. Uno de ellos es todo lo relacionado con las comunicaciones submarinas [23], en el que este tipo de tecnología permite no solo la sensorización de instalaciones como acuarios, sino que también ofrece soluciones para las comunicaciones entre buzos, proporcionando la capacidad de establecer una red *ad-hoc* entre diferentes usuarios y facilitando resolver problemas como la orientación del grupo, la formación de principiantes o incrementando la seguridad contra accidentes [24]. Otro entorno en el que es difícil usar sistemas de radio son los referidos a zonas subterráneas, entorno en el que se está realizando un trabajo extenso sobre la ubicación y orientación en explotaciones mineras [25], que puede extenderse a aplicaciones de entretenimiento como la espeleología o el turismo arqueológico.

Por lo tanto, algunas de las propuestas actualmente en fase de desarrollo en el sector de comunicaciones ópticas inalámbricas tienen el potencial de convertirse en importantes para el sector turístico: sistemas de localización y monitorización, especialmente en interiores, que pueden complementarse con canales específicos para proporcionar información relacionada con el contexto; las redes de sensorización, basadas en estrategias de Internet de las cosas, con especial énfasis en la gestión de la sostenibilidad, y enlaces de alta velocidad para proporcionar acceso a la red para aplicaciones específicas como la transmisión de video. Con respecto a las soluciones tecnológicas en sí mismas, ya que en muchos casos se refieren a un gran número de usuarios, los sistemas OCC [26-28] permiten soluciones simples para flujos de datos de baja velocidad, como la ubicación y los entornos de seguimiento, internet de las cosas, problemas de gestión del *front-end* hotelero (sistemas automáticos de *check-in/check-out* o plataformas pago). Esto tiene como ventaja decisiva su seguridad y capacidad de integración, como otra aplicación más, en el teléfono inteligente, solución que se halla ya extendida a casi todos los turistas potenciales. El amplio uso de las posibilidades que ofrecen las cámaras de los smartphones, con sensores digitales y tecnología *Rolling Shutter*<sup>1</sup> [29] permiten alcanzar velocidades de transmisión de aproximadamente 10 kbps, que se consideran más que suficientes para resolver muchas de estas operaciones de bajo perfil de datos, ofreciendo una mayor seguridad en las transacciones y un menor consumo de batería que las tecnologías de radiofrecuencia de prestaciones similares (Bluetooth, NFC o RFID).

<sup>1</sup> *Rolling Shutter* es un tipo de cámara en que la imagen no se captura de forma completa sino en líneas que luego se superponen. Su uso ha permitido abaratar el coste de las cámaras, integrarlas en los móviles y disminuir el consumo de energía desde la batería del dispositivo.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo, hemos revisado la posibilidad de integrar la creciente oferta tecnológica relacionada con los sistemas VLC en el entorno turístico, para lo que se ha contado con las opiniones de un panel de expertos escogidos entre los de mejor cualificación sobre esta tecnología en Europa. De este modo se han obtenido respuestas sobre su potencial, los desafíos de su implementación y el impacto potencial en el viajero, instalaciones turísticas y el destino en su conjunto. Los resultados muestran que los expertos están de acuerdo en considerar esta tecnología como parte de un conjunto de soluciones que se abrirán para facilitar el acceso inalámbrico a las redes en los próximos años. Dentro de los aspectos de la aplicación, destaca todo lo relacionado con la localización, el seguimiento y el monitorización de los viajeros, valorándose unanimidad como de máximo interés.

Esto es así no solo por su impacto potencial en los sistemas comerciales basados en estrategias SoCoMo, sino también en el turismo cultural o de bienestar. El desarrollo de sistemas de pago seguros o aquellos que facilitan las funciones de aligeramiento a través de los sistemas automatizados de los procesos administrativos también se consideran de máximo interés. OCC también se considera una técnica prometedora que permite la integración económica de comunicaciones ópticas inalámbricas en dispositivos de uso universal como tabletas o teléfonos inteligentes.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado en parte por la Agencia Estatal de Investigación, MICIU, proyecto OSCAR TEC2017-84065-C3-1-R. L. Aguiar-Castillo disfruta una beca FPI de investigación financiada por la ULPGC. Los autores desean agradecer su colaboración en el proceso de entrevistas a los expertos del panel a Cristina Hernández Mirás y a la profesora Lidia Hernández López.

#### REFERENCIAS

- [1] Zvanovec, S., Chvojka, P., Haigh, P. A., & Ghassemlooy, Z. (2015). "Visible light communications towards 5G". *Radioengineering*, 24(1), 1-9.
- [2] Ghassemlooy, Z., Alves, L. N., Zvanovec, S., & Khalighi, M. A. (Eds.). (2017). *Visible light communications: theory and applications*. CRC press.
- [3] Informe anual de la OMT. Accesible en <http://www2.unwto.org/es/annual-reports>.
- [4] Bulchand, J., & Melian, S. (2018). La revolución de la economía colaborativa. LID Editorial.
- [5] Buhalis, D., & Amaranggana, A. (2013). Smart tourism destinations. In *Information and communication technologies in tourism 2014* (pp. 553-564). Springer, Cham.
- [6] Perez-Jimenez, R., Rabadan, J., Rufo, J., Solana, E., & Luna-Rivera, J. M. (2015, October). Visible light communications technologies for smart tourism destinations. In *2015 IEEE First International Smart Cities Conference (ISC2)* (pp. 1-5). IEEE.
- [7] Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*, 18(2), 65-82.
- [8] Koonen, T. (2017). "Indoor optical wireless systems: technology, trends, and applications". *Journal of Lightwave Technology*, 36(8), 1459-1467.
- [9] R. Perez-Jimenez; J. Rabadan; J. Rufo; M. Luna-Rivera. "VLC Applications for Visually Impaired People". In *Visible Light Communications: Theory and Applications*. pp. 228 - 254. CRC Press LLC/Taylor & Francis Group.
- [10] Buhalis, D., & Foerste, M. (2015). SoCoMo marketing for travel and tourism: Empowering co-creation of value. *Journal of Destination Marketing & Management*, 4(3), 151-161.

- [11] Lightkey, lightbee S.L., “Visible Light Communication (VLC) application for mobile devices as control access, validation, master key or secure payment solution”. Accesible en <https://cordis.europa.eu/project/rcn/197160/factsheet/es>.
- [12] Wroblewski, A.; Leitner, A. Between “Scientific Standards and Claims to Efficiency: Expert Interviews in Programme Evaluation”. In *Interviewing Experts*; Palgrave Macmillan: New York, NY, USA, 2009; pp. 235–251.
- [13] Abels, G.; Behrens, M. “Interviewing Experts in Political Science: A Reflection on Gender and Policy Effects Based on Secondary Analysis”. In *Interviewing Experts*; Palgrave Macmillan: New York, NY, USA, 2009; pp. 138–156.
- [14] Libakova, N.M.; Sertakova, E.A. “The Method of Expert Interview as an Effective Research Procedure of Studying Indigenous Peoples of the North”. *Journal Sib. Fed. Univ. Human Society. Sci.* 2015, 1, 114–129.
- [15] Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Eds.) *Interviewing Experts*; Springer: New York, NY, USA, 2009.
- [16] Rufo, J., Delgado, F., Quintana, C., Perera, A., Rabadan, J., & Perez-Jimenez, R. (2010). Visible light communication systems for optical video transmission. *Microwave and Optical Technology Letters*, 52(7), 1572-1576.D
- [17] Bouchet, O., Porcon, P., Wolf, M., Grobe, L., Walewski, J. W., Nerreter, S., ... & Ntogari, G. (2010, December). Visible-light communication system enabling 73 Mb/s data streaming. In *2010 IEEE Globecom Workshops* (pp. 1042-1046). IEEE.
- [18] WORTECS <https://wortece.eurestools.eu/>, ICT-09-2017-RIA, Project 761329. También puede consultarse <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/ict-09-2017.html>.
- [19] Park, J. A., Park, S. K., Kim, D. H., Cho, P. D., & Cho, K. R. (2003, April). Experiments on radio interference between wireless LAN and other radio devices on a 2.4 GHz ISM band. In *The 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring*. (Vol. 3, pp. 1798-1801). IEEE.
- [20] Mostafa, A., & Lampe, L. (2014, June). Physical-layer security for indoor visible light communications. In *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 3342-3347). IEEE.D
- [21] Flamarich, M., & Duro, J. A. (2014). Turismo de negocios (eventos) en España: análisis y perspectivas. *Papers de Turisme*, (49-50), 59-75.
- [22] Tsiatmas, A., Willems, F. M., Linnartz, J. P. M., Baggen, S., & Bergmans, J. W. (2015, June). Joint illumination and visible-Light Communication systems: Data rates and extra power consumption. In *2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICCW)* (pp. 1380-1386). IEEE.
- [23] Hagemma, R. M., Haelsig, T., O’Keefe, S. G., Stamm, A., Fickenscher, T., & Thiel, D. V. (2013). Second generation swimming feedback device using a wearable data processing system based on underwater visible light communication. *Procedia Engineering*, 60, 34-39.
- [24] Cossu, G., Corsini, R., Khalid, A. M., Balestrino, S., Coppelli, A., Caiti, A., & Ciaramella, E. (2013, October). Experimental demonstration of high speed underwater visible light communications. In *2013 2nd International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW)* (pp. 11-15). IEEE.
- [25] Krommenacker, N., Vásquez, Ó. C., Alfaro, M. D., & Soto, I. (2016, October). A self-adaptive cell-ID positioning system based on visible light communications in underground mines. In *2016 IEEE International Conference on Automatica (ICA-ACCA)*(pp. 1-7). IEEE.
- [26] Chen, P., Che, D., & Yin, Y. (2019, May). A survey on visible light positioning from the hardware perspective. In *Proceedings of the ACM Turing Celebration Conference-China* (p. 112). ACM.
- [27] Chowdhury, M. Z., Hossan, M. T., Islam, A., & Jang, Y. M. (2018). A comparative survey of optical wireless technologies: Architectures and applications. *IEEE Access*, 6, 9819-9840.
- [28] Nguyen, T., Islam, A., Hossan, T., & Jang, Y. M. (2017). Current status and performance analysis of optical camera communication technologies for 5G networks. *IEEE Access*, 5, 4574-4594.
- [29] Jurado-Verdu, C., Matus, V., Rabadan, J., Guerra, V., & Perez-Jimenez, R. (2019). Correlation-based receiver for optical camera communications. *Optics Express*, 27(14), 19150-19155.