



Una formación de calidad  
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias  
15 al 18 de Septiembre de 2015

# LA FOTÓNICA EN EL DESARROLLO DE CIUDADES INTELIGENTES

Ferney Amaya Fernández, Jesús Alvarez Guerrero

Universidad Pontificia Bolivariana  
Medellín, Colombia

## Resumen

En este documento se describen las iniciativas en el tema de Ciudades Inteligentes (CIs) que viene desarrollando el grupo de investigación GIDATI de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Por un lado, el grupo de investigación GIDATI está desarrollando un modelo de CI con el cual las ciudades colombianas podrán crear una metodología para convertirse en CIs, considerando sus problemáticas y características particulares. Por otro lado, se presentan las iniciativas en el área de la fotónica que se enfocan en la solución de algunas de las problemática que afrontan las CIs.

**Palabras clave:** ciudades inteligentes; fotónica; fotónica integrada; sensado fotónico

## Abstract

*In this paper we present the initiatives related with Smart Cities that the research group GIDATI of the Pontificia Bolivariana University are developing. The research group is developing a model to be applied to the cities in Colombia, with the purpose to improve the Smart City indicators. On other hand, we employ photonic technologies to support some of the problems of the Smart Cities.*

**Keywords:** smart cities; photonics; integrated photonics; photonic sensing

## 1. Introducción

Actualmente, el mundo está experimentando un rápido crecimiento poblacional y una migración masiva de personas de áreas rurales a zonas urbanas. Se espera que para el 2050 cerca del 70 % de la población mundial habite en zonas urbanas (Pellicer, y otros,

2013). En América Latina y el Caribe la población urbana pasará del 79 % en 2010 al 87 % en el 2050 (BID, 2015). Este fenómeno trae consigo desafíos al garantizar a los ciudadanos un acceso equitativo y racional a recursos como energía, agua y alimentos y dificulta la prestación de servicios como transporte, salud y educación. Adicionalmente, los actuales problemas asociados al cambio climático y la preocupación por conservar el medio ambiente se han convertido en algunos de los factores que han motivado la generación de estrategias para planificar y gestionar las ciudades, impulsando la aparición del concepto de Ciudades Inteligentes (CI).

En general las CI ofrecen herramientas a los ciudadanos y gobernantes para hacer frente a la intensiva urbanización, al permitir la gestión eficiente de la infraestructura y los servicios, brindando bienestar y acceso equitativo a los recursos de la ciudad (Pellicer, y otros, 2013).

Una de las principales causas del éxito de las CI es la integración de diferentes tecnologías en cada uno de los subsistemas de ciudad y una de ellas es la Fotónica. En términos generales, la fotónica se refiere a la ciencia que se encarga de la generación, procesamiento, manipulación, amplificación, detección y sensado de la luz. De hecho, hoy en día se encuentran tecnologías fotónicas en muchos procesos de ciudad como por ejemplo la manufactura, las ciencias de la salud, la iluminación y visualización, el sensado y las telecomunicaciones. En los procesos de manufactura en el sector industrial el uso del láser permite producir componentes con cero fallas. Un ejemplo del uso de láseres en la industria es en el corte de extrema precisión. La biofotónica en las ciencias de la salud permitirá la detección de enfermedades empleando técnicas no invasivas de bajo costo. La fotónica ofrece con la tecnología LED (*Light Emitting Diode*) una solución de alta eficiencia energética en la iluminación y visualización. Además, la fotónica ha permitido el desarrollo de aplicaciones en las áreas de las telecomunicaciones y el sensado fotónico que son útiles en las CI. Las comunicaciones soportan la infraestructura TIC (*Tecnologías de la Información y la Comunicación*) y el sensado fotónico permite la recolección de información para múltiples aplicaciones de ciudad.

Se prevé que las CI generarán grandes volúmenes de información que deben ser transportados por la infraestructura de telecomunicaciones para luego ser procesados y almacenados en grandes centros de datos y posibilitar la prestación de servicios en la nube (*Cloud Computing*). En este sentido, una alternativa tecnológica para el transporte de información hacia y desde los centros de datos es la de las comunicaciones ópticas. Los volúmenes de información que se esperan al interior de los centros de datos son tan altos que se requieren tasas de transmisión muy elevadas. Se espera que al 2020 se requieran tasas de comunicación al interior de los centros de datos entre 80 y 780 Tbps. La tecnología que permitirá satisfacer estos requerimientos de capacidad es la fotónica integrada, que adicionalmente permite disminuir el consumo energético y el espacio físico ocupado por la infraestructura de telecomunicaciones al interior de los centros de datos, lo que representa un incremento en el rendimiento y la confiabilidad. Esta tecnología posibilitará el uso masivo de aplicaciones de Ciudad (Beausoleil, McLaren, & Jouppi, 2013). De otro lado, el sensado

fotónico ofrece ventajas sobre los sensores eléctricos como menor consumo energético y la posibilidad de realizar sensado remoto distribuido.

Reconociendo la importancia del concepto de CI y teniendo en cuenta las ventajas que ofrecen las tecnologías de la fotónica para las CI, el Grupo GIDATI (Grupo de Investigación, Desarrollo y Aplicación en Telecomunicaciones e Informática) de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) de Medellín, se ha propuesto generar proyectos e iniciativas que permitan impulsar el desarrollo de CI en el país considerando las capacidades en fotónica. Bajo esta premisa, se han propuesto trabajos como el proyecto titulado "*Estrategia para la apropiación y contextualización en la región del concepto de ciudades inteligentes*", mediante el que se está desarrollando una metodología de CI que le permita a las ciudades colombianas desarrollar un modelo de CI el cual considere las problemáticas específicas de cada ciudad y a partir de este modelo se puedan generar iniciativas que le permitan convertirse en una CI. Adicionalmente, la línea de investigación en redes y comunicaciones ópticas de GIDATI le apunta al desarrollo de tecnologías que desde la fotónica contribuyan al desarrollo de CI, con un foco en la fotónica integrada y en el sensado fotónico.

El objetivo central de este documento es presentar a la comunidad interesada en el tema de ciudades inteligentes, las principales iniciativas de investigación que viene trabajando GIDATI para el desarrollo e implementación de soluciones desde la fotónica para la problemática alrededor de las CIs.

El documento está organizado de la siguiente manera: en la sesión 2 se presenta una breve conceptualización sobre las CI y la visión que tiene el grupo GIDATI de una CI. En la sesión 3 se describen las principales iniciativas en fotónica que está trabajando el grupo GIDATI que apuntan a la solución de algunas problemáticas que afrontan las CI.

## **2. Ciudades Inteligentes**

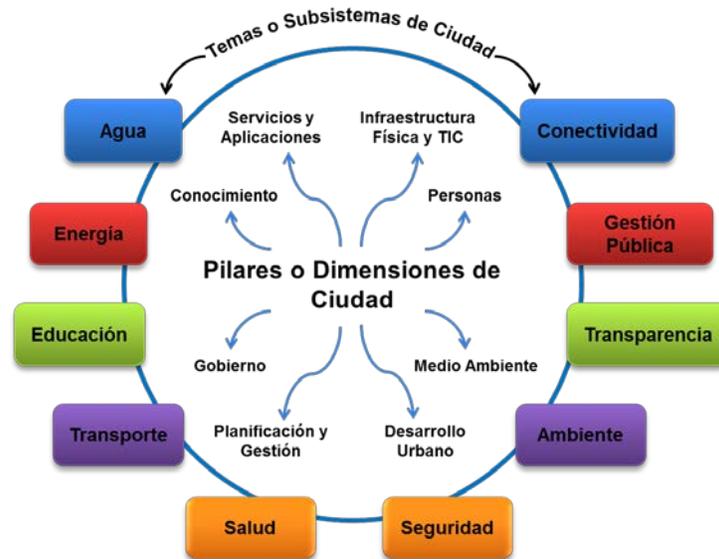
Aunque hoy en día es muy común el término de CI, realmente este concepto está aún en una etapa emergente. Actualmente existe una gran discusión en la comunidad científica mundial sobre el concepto de CI, a tal punto que no se ha llegado a un consenso sobre la definición de una CI. Por el contrario, se observa que cada institución, entidad, región, sociedad o incluso cada individuo puede generar su propio concepto a partir de sus propios requerimientos y necesidades. Sin embargo, en la mayoría de las definiciones e iniciativas encontradas se promueve la transformación de la infraestructura física y tecnológica, y se promueve una cultura ciudadana y empresarial con el fin de generar soluciones y ambientes inteligentes que mejoren la calidad de vida de los ciudadanos.

Organizaciones como CINTEL a nivel nacional e IBM y el BID a nivel internacional han ido un paso más allá de solo emitir un concepto de CI y han desarrollado sus propios modelos conceptuales sobre CI con el fin de proporcionar una herramienta de guía para aquellas ciudades que buscan convertirse en CI. Estos modelos buscan identificar

los elementos a desarrollar en la evolución hacia una CI, reconociendo y agrupando las soluciones de la ciudad de acuerdo a características comunes.

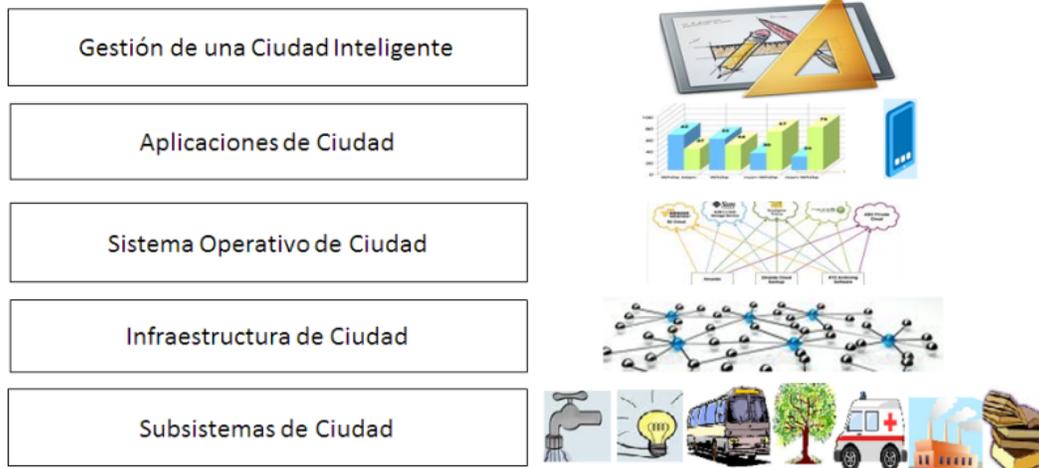
CINTEL propone una metodología conocida como Cintel Smart-city Index-CSI (CINTEL, 2013), en la cual se agrupan los elementos que componen una ciudad en áreas denominadas inteligencias, integradas por los siguientes tres pilares: 1) infraestructura física y tecnológica, 2) gestión de conocimiento, y 3) servicios y aplicaciones. Por su lado el IBM desarrolló su modelo de CI considerando que los tres componentes más importantes de una ciudad son la infraestructura, las operaciones de planificación y gestión y las personas (International Business Machines, 2015). Mientras que el BID contempla un modelo que se centra en tres áreas: sostenibilidad ambiental y cambio climático, desarrollo urbano y sostenibilidad fiscal y gobernabilidad. En la Figura 1 se presenta un ejemplo de modelo de CI en el que se integran elementos de los tres modelos mencionados anteriormente.

Por su parte, el grupo de investigación GIDATI siendo consciente de sus capacidades y de las necesidades de la región desarrolló su propia definición de CI: "Una CI es un conjunto de tecnologías, servicios y aplicaciones informáticas, que brinda a sus los diferentes actores de la ciudad una visión global y consistente de este, buscando una mejor calidad de vida de sus ciudadanos y facilitando los procesos de gestión a sus dirigentes y gobernantes". Actualmente se encuentra desarrollando una metodología que permita que cada ciudad cree su propio modelo de CI a partir de sus propias problemáticas y necesidades.



**Figura 1.** Modelo de CI con elementos de los modelos de CINTEL, IBM y BID (Alvarez Guerrero & Amaya Fernandez, 2015).

En la figura 2 se presenta el modelo de CI desarrollado por el grupo GIDATI y con el cual se puede expresar la visión del grupo de investigación sobre las CI.



**Figura 2.** Visión de una CI del Grupo de Investigación GIDATI (Alvarez Guerrero & Amaya Fernandez, 2015).

La primera capa del modelo hace referencia a los diferentes subsistemas interconectados en una CI (Transporte y movilidad, comunicaciones, recursos naturales, agua, alimentos, energía, salud y educación). La capa de "infraestructura de ciudad" está conformada por la infraestructura de red para el transporte de información de los diferentes subsistemas, y por los componentes empleados para la captura de información útil para la CI, incluyendo cámaras y sensores. El "sistema operativo de ciudad" provee una plataforma común, que a través de interfaces estandarizadas ofrece un conjunto de servicios que le facilitan a las aplicaciones el uso de los servicios de la CI. Las aplicaciones de ciudad permiten a los diferentes actores hacer uso de los servicios proporcionados por la ciudad inteligente, ofreciendo seguridad, privacidad y confiabilidad. Finalmente, en el último nivel se encuentran las aplicaciones que faciliten los procesos de gestión de una ciudad a sus dirigentes y gobernantes. Estas aplicaciones permiten tomar decisiones de diseño y operación de los subsistemas de la ciudad.

### 3. Aportes en Sensado y Fotónica Integrada

El sensado fotónico y la fotónica integrada ofrecen soluciones a las problemáticas de las CIs. Estas soluciones hacen parte de la capa de infraestructura de ciudad (ver Figura 2).

Una de las iniciativas de GIDATI está orientada al desarrollo de técnicas de sensado de bajo costo que empleen la fibra óptica para monitorear movimientos del suelo y generar una alerta temprana ante un evento de deslizamiento de tierra. El uso de la fibra óptica permite el sensado remoto y distribuido evitando el uso de baterías o de fuentes de alimentación en el punto de medición. De esta forma pueden sensarse laderas enteras empleando un hilo de fibra extendido en el área de interés y el punto de monitoreo puede ubicarse a varios kilómetros de separación. Este método hace el sistema de medición de bajo costo y simple de operar. Los resultados obtenidos se enmarcan bajo el proyecto titulado *Consolidación Línea de Investigación en Fotónica*

- UPB desarrollado por docentes y estudiantes de pregrado. En la Figura 3 se presenta una de las propuestas desarrolladas por el grupo de trabajo, la cual emplea anillos de fibra óptica que generan un cambio en la amplitud de la señal óptica ante un movimiento del suelo.



**Figura 3.** Parte del grupo de trabajo trabajando en la implementación del sistema de sensado de bajo costo.

Estos resultados apuntan al mejoramiento del método actual de medición en Colombia que consiste en el desplazamiento de una persona hasta el punto de medición, lo cual se hace cada semana o cada 15 días, lo que no permite generar efectivamente alertas sobre un posible deslizamiento.

Este proyecto ha permitido la interacción con entidades gubernamentales como el Departamento Administrativo de Prevención de Desastres (DAPARD) del departamento de Antioquia, con quienes se está trabajando en la elaboración de una propuesta conjunta para el desarrollo de un prototipo de sensado fotónico que permita el monitoreo y alerta temprana de eventos de deslizamiento en laderas de montañas.

En el tema de sensado también se ha trabajado en el monitoreo de esfuerzos mecánicos en infraestructuras civiles. Para esto se instrumentó una viga de hormigón y se sometió a diferentes esfuerzos mecánicos. La fibra óptica en conjunto con FBGs (Fiber Bragg Gratings) se empleó como sensor. En la Figura 4 se presenta una de las pruebas realizadas para caracterizar el sistema de sensado.

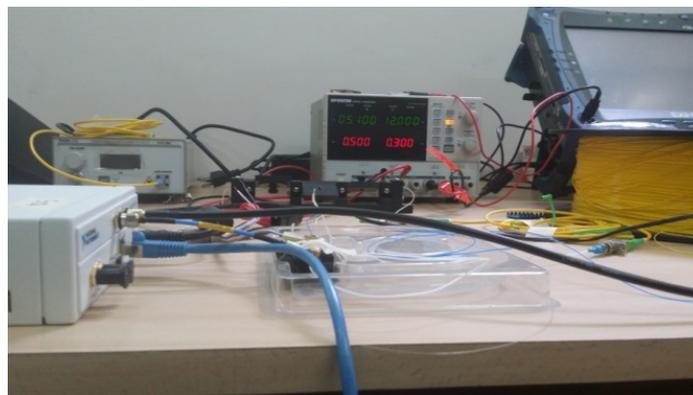


**Figura 4.** Pruebas de sensado para medir esfuerzos mecánicos en infraestructuras civiles.

Actualmente, el grupo GIDATI en conjunto con la Escuela de Ingenierías de Antioquia y una empresa del sector de la construcción, están trabajando en el desarrollo de un prototipo para monitorear la salud estructural de una edificación.

De otro lado, en cuanto a la fotónica integrada, se está trabajando en soluciones de bajo consumo energético y espacio físico reducido. Con la Universidad de Campinas se realizó un trabajo consistente en analizar la propagación de ondas a través de nanoguías fotónicas para la implementación de tramos en forma de espiral. Este desarrollo permite reducir el espacio físico ocupado por los futuros dispositivos integrados fotónicos que constituirán los componentes de comunicación al interior de los centros de datos.

En la Figura 5 se presenta uno de los montajes de fibra óptica consistente en la transmisión de una señal de Radio sobre Fibra, que a futuro podrá implementarse en un dispositivo fotónico integrado.



**Figura 5.** Montaje de fibra óptica que emplea la tecnología de Radio sobre Fibra.

Una mejora en la capacidad de los centros de datos permitirá procesar de una forma más eficiente la información generada y requerida por las ciudades inteligentes.

En Colombia, las tecnologías de sensado fotónico y de fotónica integrada aún no han sido lo suficientemente exploradas, de hecho, según la literatura consultada, en Colombia no se ha presentado ningún resultado a nivel de investigación ni de desarrollo donde se utilicen sensores fotónicos para aplicaciones de salud estructural o prevención del riesgo. De esta manera, las iniciativas en estas áreas de trabajo que se desarrollen en el país, tienen un componente de innovación que aporta al desarrollo de la fotónica y de paso contribuye a la solución de las problemáticas de las CI.

#### 4. Referencias

##### Artículos de Revista

- Beausoleil, R., McLaren, M., & Jouppi, N. (2013). Photonic Architectures for High-Performance Data Center. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 17(2).
- CINTEL. (2013). Ciudades Inteligentes: Cintel Smart City Index. *RCT*, 64, 5-13.

##### Memorias de Congresos

- Pellicer, S., Santa, G., Bleda, A. L., Maestre, R., Jara, A. J., & Skarmeta, A. G. (2013). A Global Perspective of Smart Cities: A Survey. *Seventh International Conference on Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing*.

##### Fuentes Electrónicas

- BID. (2015). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles: <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/dando-respuesta-a-los-desafios-de-desarrollo-urbano-de-las-ciudades-emergentes,6690.html>
- International Business Machines. (2015). *IBM un planeta más inteligente, Ciudades*. Recuperado el Febrero de 2015, de [http://www.ibm.com/smarterplanet/es/es/smarter\\_cities/overview/](http://www.ibm.com/smarterplanet/es/es/smarter_cities/overview/)

##### Otras Fuentes

- Álvarez Guerrero, J., & Amaya Fernandez, F. (2015). *Documento interno grupo GIDATI*.

##### Sobre los Autores

- **Ferney Amaya Fernández:** Ingeniero Electrónico, Master en Ingeniería, Doctor en Telecomunicaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. Profesor Asociado. [Ferney.amaya@upb.edu.co](mailto:Ferney.amaya@upb.edu.co)

- **Jesús Álvarez Guerrero:** Ingeniero Electrónico, Candidato a Master en TIC de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín. Joven Investigador. [Jesus.alvarezg@upb.edu.co](mailto:Jesus.alvarezg@upb.edu.co)

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)