

# INTERNET DE LAS COSAS (IOT) ASOCIADO A LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DEL SECTOR ELÉCTRICO

Diego Sánchez Ochoa  
Juan David Molina Castro  
Jaime A. Zapata  
Colombia Inteligente

## RESUMEN

Este documento contiene un análisis de los impactos de la implementación del Internet de las Cosas (IoT) en el sector eléctrico, identificando los principales componentes en temas de dispositivos, arquitectura y comunicación; así como los principales impactos y beneficios en el sector como lo son la información en tiempo real, los nuevos modelos de negocio, la visibilidad global y la diversificación de los flujos de ingresos. Finalmente, se presentan los resultados de un taller de identificación de retos y oportunidades derivadas de la implementación del IoT en el sector.

## I. INTRODUCCIÓN

El Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) propone tres tendencias principales en la transformación del sector energético: descentralización, digitalización y electrificación, que se está relacionado con la ruptura de paradigmas en la planeación y operación de los sistemas eléctricos, con elementos activos conectados en las redes cercanas al usuario final, un cambio tecnológico respecto al uso de los recursos fósiles hacia el uso electro intensivo de la economía, y la integración de tecnologías de la información y comunicaciones para la toma de decisiones. Dichas tendencias de transformación convergen en el empoderamiento del usuario de su comportamiento energético.

Asociado a la digitalización del sector, se encuentra el incremento global en el acceso a internet, combinado con un número cada vez mayor de dispositivos diseñados para conectarse, que está generando una cantidad ilimitada de oportunidades en el marco del internet de las cosas (IoT)<sup>1</sup>. Por ejemplo, para el año

## PALABRAS CLAVE

Internet de las cosas, transformación digital, eficiencia operacional, gestión de activos, sector eléctrico.

---

1 "An infrastructure of interconnected objects, people, systems and information resources together with intelligent services to allow them to process information of the physical and the virtual world and react." (IEC, 2016)

2020 se espera que estén conectados al internet cerca de 30.000 millones de personas, sistemas y objetos físicos, compartiendo datos, información y decisiones<sup>2</sup>.

El sector eléctrico con sus plantas de generación, subestaciones, líneas de transmisión y distribución, centros de control y demás infraestructura, es quizás la maquina más grande del mundo, capaz de entregar inmensas cantidades de datos que conducen a cambios en la industria y en la vida de las personas. Es visto que los avance tecnológicos asociados al IoT, tienen la capacidad de supervisar y medir el flujo de energía y mejorar la eficiencia operativa de la red, derivando en menores costos para los usuarios<sup>3</sup>. Las nuevas tecnologías están cambiando la forma en que se conciben los sistemas eléctrico: aplicaciones con drones o vehículos no tripulados que pueden supervisar las redes de distribución, realizar mantenimientos y optimizar el tiempo de las cuadrillas; soluciones en tiempo real para gestionar los medidores avanzados, generación distribuida, flujos bidireccionales, almacenamiento de energía y mecanismos de respuesta de la demanda; así como redes autónomas de área amplia para responder rápidamente a desastres naturales utilizando los sensores de las redes eléctricas.

A su vez, con la medición inteligente (la masificación de los medidores avanzados y la Infraestructura de Medición Avanzada -AMI, por sus siglas en inglés-), millones de usuarios tendrán mejores herramientas para una participación activa de los sistemas energéticos inteligentes en los hogares e instalaciones de uso final. Con dicha implementación las soluciones de IoT pueden ser usadas en iluminación, ventilación, aire acondicionado, entretenimiento entre otras aplicaciones consumidoras de energía. Por ejemplo, es posible que los electrodomésticos se adapten a los hábitos del usuario e interactúen con el mercado energético para minimizar costo de la energía eléctrica y las emisiones de gases de efecto invernadero, habilitando al usuario para gestionar su consumo desde diferentes interfaces en la web, teléfonos y otros dispositivos inteligentes<sup>4</sup>.

En el área de la generación de energía, el IoT se puede usar para monitorear y controlar el consumo de energía, unidades, equipos y emisiones de gases contaminantes; así como para administrar planes de energía distribuida, energía eólica, biomasa, plantas fotovoltaicas, entre otras tecnologías. En el

---

2 OECD, "Consumer policy and the smart home," no. 268, 2018.

3 T. Godart, "Disruption at the Edge: IoT Transforming Energy Grids - IoT@Intel," 2018. [Online]. Available: <https://blogs.intel.com/iot/2018/01/16/disruption-at-the-edge-iot-transforming-energy-grids/>. [Accessed: 20-Sep-2018].

4 OECD, "Consumer policy and the smart home," no. 268, 2018.

área de la transmisión de potencia, el IoT se puede utilizar para la supervisión y el control de las líneas y subestaciones, así como para la protección de los activos. En el área de distribución de energía, el IoT se puede usar para la automatización, así como en la gestión de los activos. En el usuario final, el IoT puede usarse para hogares inteligentes, lectura automática de medidores, carga y descarga de vehículos eléctricos, para recopilar información sobre el consumo de energía de los electrodomésticos, control de carga, control y gestión de eficiencia energética y respuesta de la demanda<sup>5</sup>.

Las oportunidades derivadas de la implementación del IoT se pueden resumir en las siguientes temáticas; sin embargo, no se limitan a ellas.

- **Información en tiempo real:** captura de datos sobre productos y procesos de forma más rápida, mejorando la agilidad del mercado y permitiendo una pronta toma de decisiones.
- **Nuevos modelos de negocio:** nuevos flujos de valor para los agentes con una respuesta más rápida.
- **Visibilidad global:** hacer el seguimiento más fácil de todos los eslabones de la cadena.
- **Diversificación de flujos de ingresos:** monetización de servicios agregados, además de las líneas tradicionales de negocios.

Este documento tiene como objetivo analizar las implicaciones del IoT en el sector Eléctrico Colombiano, y para conseguirlo se ha decidido estructurarlo de la siguiente manera: en la primera parte se presentan los principales componentes del IoT, principalmente en cuanto a las comunicaciones asociadas y la arquitectura de referencia; posteriormente, se presentan las principales aplicaciones en el sector eléctrico y por último se brindan algunas recomendaciones en el contexto colombiano.

## II. COMPONENTES DEL IOT

El IoT se ha caracterizado por la convergencia de las tecnologías de la información (IT) con las tecnologías operativas (OT). OT, como Controladores Lógicos Programables (PLC), la automatización de procesos, control y supervisión, además de los Sistemas De

---

5 Y. Saleem, N. Crespi, M. H. Rehmani, and R. Copeland, "Internet of Things-aided Smart Grid: Technologies, Architectures, Applications, Prototypes, and Future Research Directions," Apr. 2017

Adquisición De Datos (SCADA), que se utilizan ampliamente para la automatización de procesos en la industria, para mejorar el rendimiento, la calidad y la eficiencia. Las IT por su parte, han visto grandes avances con la planificación de recursos, la gestión de las relaciones con los clientes, los sistemas de soporte a la toma de decisiones, procesos para administrar la cadena de valor y reducir los costos. El IoT, sin embargo, incluye una serie de componentes, partiendo desde los propios dispositivos, pasando por las comunicaciones y el análisis de información, hasta llegar a las funcionalidades como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1:** Componentes del IoT

Dispositivos	Comunicaciones	Analítica	Funcionalidades
Sensores	Bluetooth	Inteligencia artificial	Gestión de activos
Gateway	Zigbee		
Vehículos eléctricos	Z-Wave	M2M	
Electrodomésticos	6LowPAN		
inteligentes	Thread	Realidad virtual	
Medidores	WiFi	BigData	Eficiencia operacional
Interruptores	GSM/3G/4G/LTE		
Reconectarles	NFC	Cluod computing	
	Sigfox		
	Neul		
	LoRanWAN	Blockchain	Experiencia de usuario

## II 1. COMUNICACIONES ASOCIADAS AL IOT

Las necesidades en comunicación del IoT y en general de las redes inteligentes son cada vez más exigentes para las empresas encargadas de prestar servicios públicos, considerando que este tipo de compañías son responsables de mantener y operar infraestructura de misión crítica, de las cuales depende el correcto funcionamiento de la vida, la propiedad privada, el orden público y el funcionamiento de la sociedad. Actualmente, las aplicaciones de redes inteligentes en las empresas de servicios públicos se soportan en redes privadas y/o comerciales. Sin embargo, la masificación de estas tendencias exige mayor uso de las redes de comunicación, requiriendo mayor uso del espectro radioeléctrico para desarrollar soluciones costo-efectivos<sup>6</sup>.

6 G. Schroder, J. P. Filho, and V. L. Moreli, "The Search for a Convergent Option to Deploy Smart Grids on IoT Scenario," *Adv. Sci. Technol. Eng. Syst. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 569–577, 2017

Son varias las alternativas de comunicación asociadas al IoT, algunas bien conocidas, como WiFi, Bluetooth, ZigBee y celular 2G / 3G / 4G, pero también existen opciones de red emergentes como Thread LoRaWAN, Sigfox, entre otras; implementadas en las principales ciudades para casos de uso basados en IoT de área amplia. Dependiendo de la aplicación, factores como el rango, los requisitos de datos, las demandas de seguridad y la autonomía determinarán la elección de una o alguna combinación de tecnologías. En la tabla 2 se listan algunas de las alternativas de comunicación.

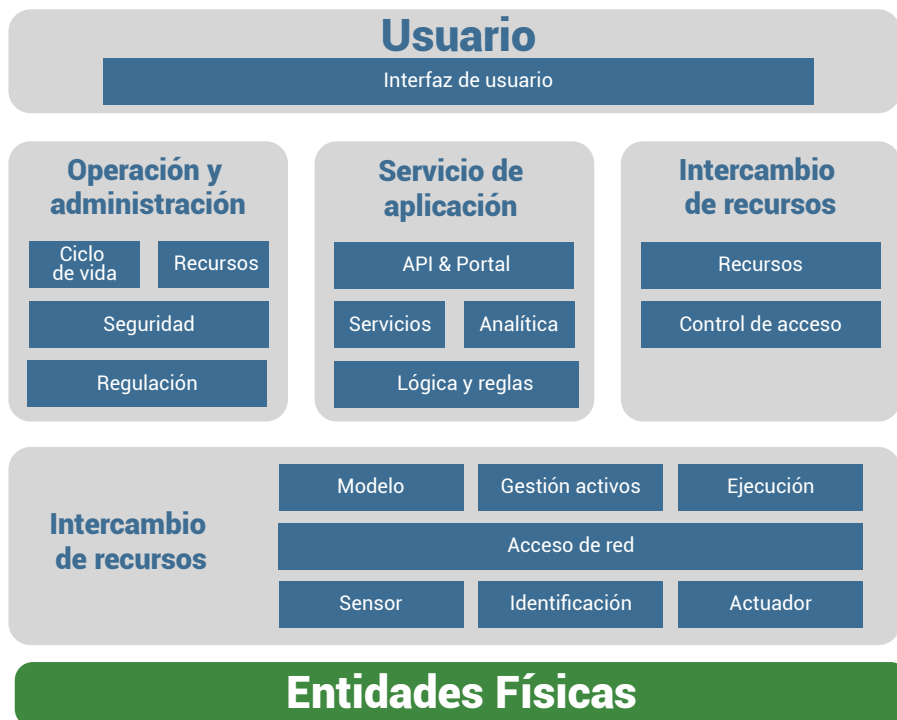
**Tabla 2:** Alternativas de comunicación en IoT

Tipo	Estándar	Frecuencia	Rango	Velocidad
<b>Blue-tooth</b>	Bluetooth 4.2 Core Specification	2.4GHz (ISM)	50-150m (Smart/BLE)	1Mbps (Smart/BLE)
<b>Zigbee</b>	ZigBee 3.0 basado en IEEE802.15.4	2.4GHz	10-100m	250 kbps
<b>Z-Wave</b>	Z-Wave Alliance ZAD12837 / ITU-T G.9959	900MHz (ISM)	30 m	9.6 / 40 / 100kbit / s
<b>6Low-PAN</b>	RFC6282	Varios	N/A	N/A
<b>Thread</b>	IEEE802.15.4 y RFC6282	2.4GHz (ISM)	N/A	N/A
<b>Wifi</b>	802.11n	2.4GHz y 5GHz	50 m	150-600 Mbps
<b>Celular</b>	GSM / GPRS / EDGE (2G), UMTS / HSPA (3G), LTE (4G)	900/1800/1900 / 2100MHz	35 km – 200 km	35-170kps (GPRS) 120-384 kbps (EDGE) 384Kbps-2Mbps (UMTS) 600Kbps-10Mbps (HSPA) 3-10 Mbps (LTE)
<b>NFC</b>	ISO / IEC 18000-3	13.56MHz (ISM)	10cm	100-420 kbps
<b>Sigfox</b>	Sigfox	900MHz	30-50km (rural) 3-10km (urbano)	10-1000 bps
<b>Neul</b>	Neul	900MHz (ISM), 458MHz (UK), 470-790MHz (White Space)	10 km	1 bps de hasta 100 kbps
<b>LoRa-WAN</b>	LoRaWAN	Varios	2-5 km (Urbano) 15 km (Rural)	0.3-50 kbps

## II 2. ARQUITECTURA REFERENCIAL DEL IOT.

La arquitectura de los sistemas eléctricos tradicionales no contempla los requisitos necesarios para la operación del IoT, por este motivo es necesario integrar esta tendencia tecnológica garantizando condiciones de confiabilidad, seguridad e interoperabilidad. La IEC y en particular el comité técnico JTC 1, han desarrollado la arquitectura referencial para el IoT en el estándar ISO/IEC 30141. Dicho estándar contempla un modelo conceptual, un modelo y una arquitectura de referencia para los sistemas IoT; además, tiene como objetivo proveer una guía para facilitar el diseño y desarrollo de este tipo de sistemas, promoviendo un modelo abierto y común que garantice la interoperabilidad de los sistemas. La Figura 1<sup>7</sup> describe la arquitectura propuesta en 6 dominios: las entidades físicas, el intercambio de recursos, operación y administración, servicio de aplicación, intercambio de recursos y el usuario.

**Gráfico 1:** Arquitectura referencia del IoT



7 European Commission, "Advancing the Internet of Things in Europe," pp. 5–38, 2016

## II 3. ATRIBUTOS DEL IOT

Para cumplir con las funcionalidades del IoT es necesario que los dispositivos estén en la capacidad de conectarse y operar en cualquier lugar, para conseguirlo se debe garantizar la interoperabilidad, compatibilidad, confiabilidad, y seguridad en las operaciones. Actualmente, las plataformas IoT son una mezcla de componentes reutilizados a partir de soluciones existentes. Muchas de estas soluciones requieren que aplicaciones y sistemas dispares trabajen juntos, usando protocolos, estándares y conceptos existentes no diseñados para IoT. En cambio, tales sistemas simplemente intentan unir el OT de los dispositivos físicos con las plataformas y aplicaciones de TI y back-end existentes.

El uso masivo del IoT plantea retos importantes en torno a la seguridad y protección de los sistemas cibernéticos y físicos, en su desarrollo pueden ser apropiadas varias políticas, planes de gestión, protocolos y normas utilizadas en la actualidad en temas de ciberseguridad. Sin embargo, debido a las características de algunas implementaciones del IoT, es necesario desarrollar estrategias para gestionar los riesgos asociados.

El atributo de los sistemas y dispositivos del IoT mediante el cual pueden hablar el mismo lenguaje, conocido como interoperabilidad, es un elemento crítico para diseñar un mercado donde los dispositivos puedan conectarse y operar en cualquier lugar. Este atributo puede lograrse mediante el cumplimiento de estándares abiertos comunes, o mediante la implementación de sistemas y plataformas que permiten que los diferentes sistemas de IoT se comuniquen entre sí. La falta de interoperabilidad puede crear barreras para los consumidores, ya que puede derivar en inflexibilidad de integración, complejidad en la propiedad, bloqueo de proveedores y obsolescencia prematura de los dispositivos<sup>8</sup>.

Asimismo, los sistemas con interoperabilidad facilitan el ingreso de nuevos dispositivos, propiciando la innovación tecnológica, respaldando la elección del consumidor y la competencia. En particular, la interoperabilidad puede permitir a los consumidores elegir dispositivos con las mejores características al mejor precio y ofrece los medios para que esos dispositivos funcionen correctamente.

La estandarización del IoT abarca normas de conectividad, interoperabilidad, API, gobernanza de datos, intercambio

---

8 European Commission, "Advancing the Internet of Things in Europe," pp. 5-38, 2016

de datos (por ejemplo, servicios en la nube), protección de datos personales y seguridad. A diferencia de las soluciones propietarias, los estándares abiertos se consideran una solución en el panorama del IoT, debido a sus efectos positivos en cuanto a la implementación a gran escala, la adopción generalizada y la prevención del bloqueo para a los consumidores. Los estándares abiertos también son clave para crear ecosistemas innovadores que atraviesen los valles de la muerte. Sin embargo, el uso de estándares y/o protocolos no garantiza la interoperabilidad, es necesario contar con el compromiso de los diferentes actores involucrados en el IoT.

### III. IOT EN EL SECTOR ELÉCTRICO

Durante décadas el sector eléctrico ha implementado elementos del IoT en sus diferentes procesos; sin embargo, los desarrollos obedecen a soluciones aisladas sin una visión sistémica. Estas funcionalidades incluyen la supervisión de la operación de dispositivos lógicos programables (PLC, por sus siglas en inglés), en la cual se recogen y analizan los datos de los dispositivos para tomar decisiones realimentadas mediante comandos de control. Otro ejemplo del IoT, son los medidores inteligentes que ofrecen tanto al usuario como a las empresas prestadoras del servicio conocer el consumo en tiempo real, y tomar decisiones con acceso a otro tipo de información, como el precio de la energía o la temperatura del ambiente<sup>9</sup>.

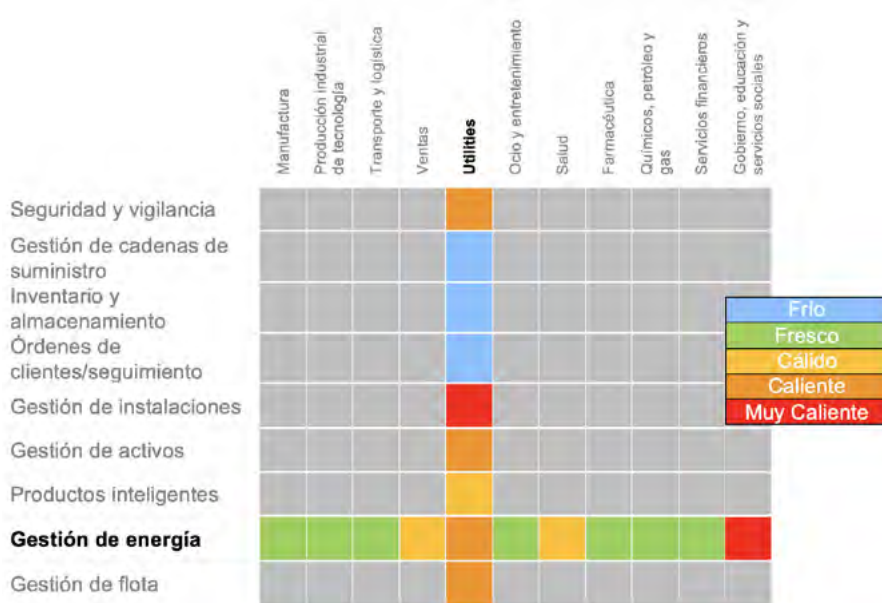
De acuerdo con el Heat Map del IoT construido por Forrester<sup>10</sup>, se presentan grandes oportunidades tanto para la industria de las empresas prestadoras de servicios públicos como para la aplicación de gestión energética. Derivadas del monitoreo, diseño, construcción y operación de infraestructura, incluidos los sistemas de iluminación, aire acondicionado y ventilación; así como el monitoreo, gestión y medición del consumo de energía eléctrica, gas y agua, como se muestra en la Figura 2.

---

9 A. Ramamurthy and P. Jain, "The Internet of Things in the Power Sector Opportunities in Asia and the Pacific," no. 48, 2017.

10 M. Pelino, F. E. Gillett, C. Voce, and C. Garberg, "Internet-Of-Things Heat Map 2018," 2016. [Online]. Available: <https://www.forrester.com/report/InternetOfThings+Heat+Map+2018/-/E-RES122661#>. [Accessed: 24-Sep-2018].



**Gráfico 2:** Heat Map del IoT en el sector eléctrico

Fuente: M. Pelino, F. E. Gillett, C. Voce, and C. Garberg, "Internet-Of-Things Heat Map 2018," 2016.

En la figura 3 se muestran las principales implicaciones del IoT en el sector eléctrico, agrupadas en 4 temáticas principales. La primera de ellas está asociada a la transformación digital del sector con la integración de las TIC; la segunda con la eficiencia operacional del sector, apoyadas en el IoT para optimizar el uso de la infraestructura del sector; la tercera es la automatización de la red, logrando mejorar los indicadores de prestación del servicio; y por último, la transformación de la experiencia del usuario a través del empoderamiento de su consumo energético.

**Gráfico 3:** IoT en el sector eléctrico.

#### IV. TALLER: IOT RETOS PARA EL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO

En el marco del Congreso Internacional de TIC – ANDICOM 2018 organizado por Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CINTEL), se realizó un taller con la participación de alrededor de 30 expertos del sector TIC, utilizando la metodología *design thinking*, en busca de crear un espacio de discusión en torno a la transformación digital y el desarrollo del Internet de las Cosas en el sector eléctrico colombiano, asociado principalmente en dos temáticas:

- Impacto del IoT en la interoperabilidad y ciberseguridad del sector.
- Identificación de modelos de negocio apalancados por el IoT para el sector eléctrico.

El taller inició con ponencias magistrales, en las que expertos brindaron un marco general acerca de la transformación digital y las implicaciones de la implementación del IoT en el sector eléctrico. Posteriormente se abrió el espacio para el desarrollo del taller con los participantes, el ejercicio fue dividido en dos

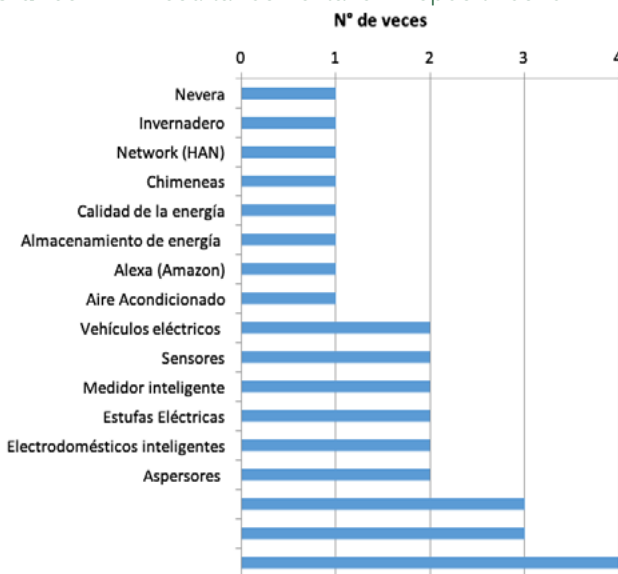
fases, la primera respecto a los requerimientos del IoT y la segunda respecto a las oportunidades del IoT.

#### IV 1. REQUERIMIENTOS DE IOT

Esta fase consistió en identificar los dispositivos del IoT con aplicación en el sector eléctrico y en establecer la interacción con activos del sector eléctrico. Posteriormente, establecer los requerimientos para el IoT en los 4 atributos siguientes: telecomunicación e interoperabilidad, gobernanza de datos, ciberseguridad y arquitectura, ubicando en un formato pre-impreso los retos identificados por tipo de atributo y asignar su horizonte de desarrollo (corto, mediano o largo plazo).

En la figura 4, se muestra la frecuencia de los dispositivos identificados por los participantes.

**Gráfico 4:** Resultados del taller: Dispositivos IoT



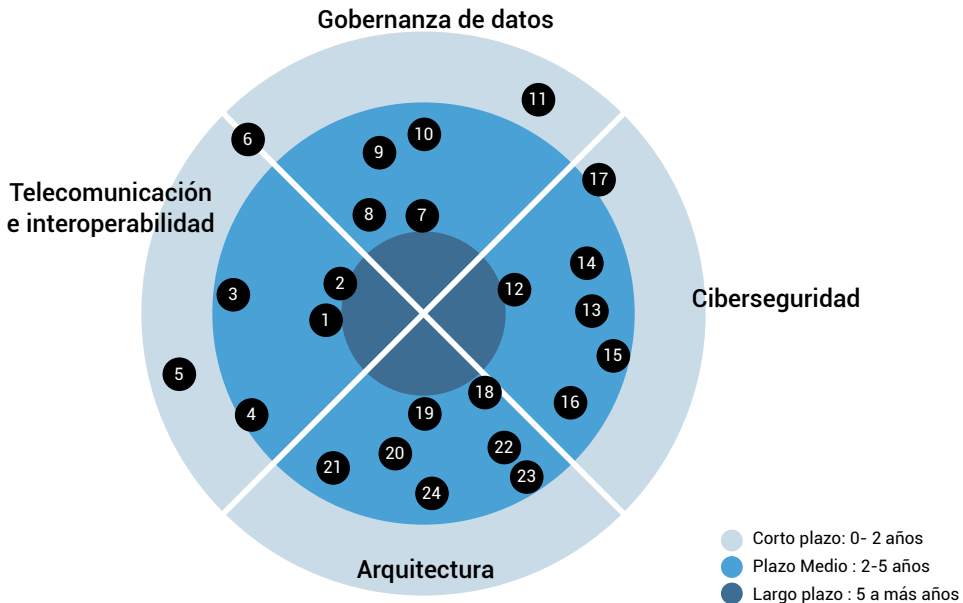
Una vez identificados los dispositivos del IoT, se les solicitó a los participantes que identificaran el activo del sector eléctrico con el que estos tenían algún tipo de interacción, identificando la importancia de la interacción entre los dispositivos con la red eléctrica en el hogar y la red de distribución.

Respecto a los requerimientos del IoT en los atributos se logró identificar la necesidad de armonizar el uso de estándares y protocolos de comunicación, con el objetivo de transmitir información en un lenguaje común, diseñar políticas y

marcos regulatorios en torno a la gobernanza de datos, así como requisitos en ciberseguridad como autenticación, veedores de información, acceso remoto, y *etical hacking*.

En el gráfico 5 se muestran los requerimientos identificados y su ubicación con respecto a los 4 atributos y un horizonte de tiempo. Destaca la importancia de armonizar los temas regulatorios en el corto plazo.

**Gráfico 5:** Resultados del taller: horizonte requerimientos de lot



**Requerimientos para LoT**

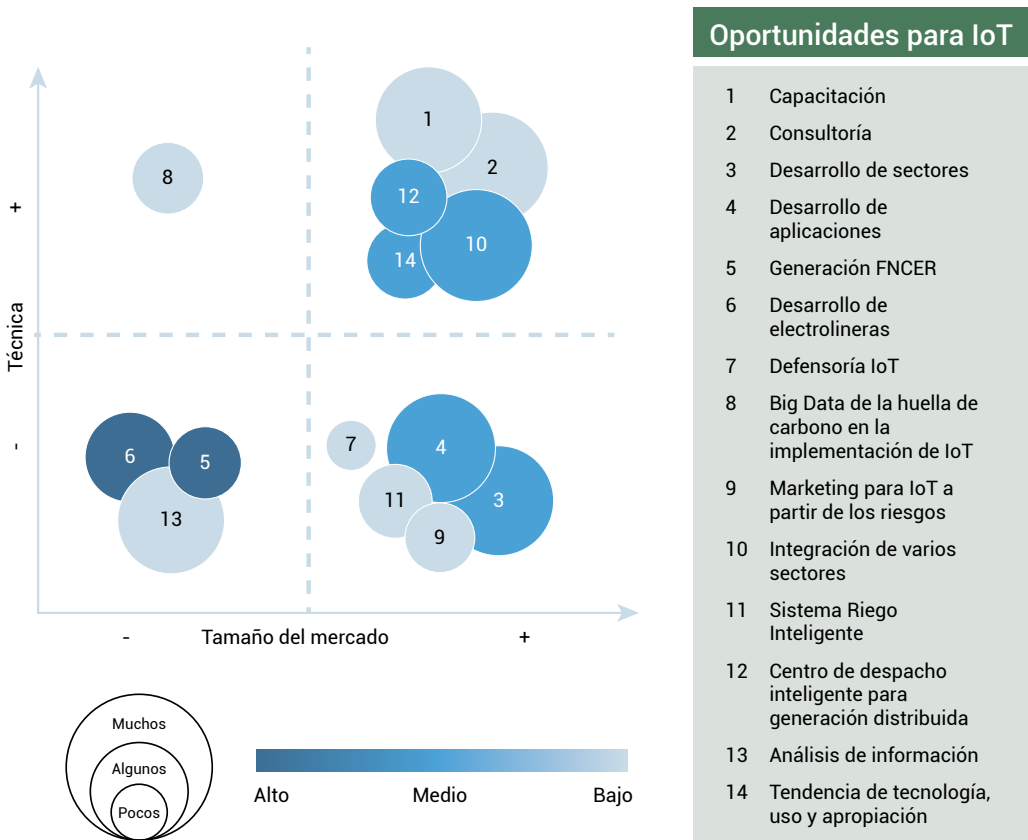
1 Medidor inteligente, interoperabilidad bajo software	8 Análisis de información	16 Protocolos de comunicación
2 Masificar cultura y estándares de interoperabilidad	10 Se requieren normas para movilidad eléctrica y generación distribuida	17 Autenticación
3 Interconectividad	11 Análisis de datos para toma de decisiones	18 Armonizar
6 Interconectividad (Hardware)	12 Acceso Remoto	19 Transparente, incluyente, integrativa
5 Hacer uso del lenguaje de intercambio de la información	13 HAN. Que lleven seguridad en los routers	20 Estrategia para la generación de arquitectura
4 IPV6	14 Garantizar un veedor de información	22 Protocolos
7 Regulación de políticas de protección de información	15 Etical Hacking	22 Comunicación entre dispositivos
9 Almacenamiento		23 Integración sensor con el dispositivo
		24 HAN, Arquitectura abierta

## IV 2. OPORTUNIDADES DE IOT

Posteriormente, se les solicitó a los participantes identificar 10 oportunidades para la implementación del IoT, y calificarlos en términos de su viabilidad técnica y el tamaño de mercado de desarrollo representándolos gráficamente dentro de la matriz indicada en el gráfico 6, teniendo en cuenta las siguientes definiciones:

- **Oportunidad:** una solución propuesta (productos o servicios) para una necesidad insatisfecha o no satisfecha del todo (nicho de mercado) con una lógica de negocios específica (estrategia de entrada y modelo de negocios).
- **Riesgo:** efecto de la incertidumbre sobre los objetivos. Es la combinación de la probabilidad del evento y sus consecuencias<sup>11</sup>.
- **Beneficio:** mejora que logra una cosa o persona con la implementación de una acción o actividad de carácter económico, técnico, social o ambiental.

**Gráfico 6:** Resultados del taller: Oportunidades de IoT.



Oportunidades para IoT	
1	Capacitación
2	Consultoría
3	Desarrollo de sectores
4	Desarrollo de aplicaciones
5	Generación FN CER
6	Desarrollo de electrolineras
7	Defensoría IoT
8	Big Data de la huella de carbono en la implementación de IoT
9	Marketing para IoT a partir de los riesgos
10	Integración de varios sectores
11	Sistema Riego Inteligente
12	Centro de despacho inteligente para generación distribuida
13	Análisis de información
14	Tendencia de tecnología, uso y apropiación

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se brindan algunas conclusiones y recomendaciones derivadas del análisis de los impactos de la implementación del Internet de las Cosas (IoT) en el sector eléctrico:

- En busca de garantizar la integración del IoT con la infraestructura del sector eléctrico, es necesario armonizar la arquitectura asociada a las redes inteligentes con la arquitectura referencial del IoT, garantizando la interoperabilidad, ciberseguridad y gobernanza de datos.
- El IoT trae consigo grandes oportunidades y retos para las empresas del sector eléctrico, principalmente asociadas con el uso de la información para generar servicios de valor agregado, en los cuales el usuario jugará un papel fundamental en la toma de decisiones en la operación y planeación de los sistemas.
- Los principales beneficios de la implementación del IoT en el sector eléctrico provienen de la eficiencia en la prestación del servicio ocasionadas por mejor gestión de los recursos energéticos, reducción de pérdidas y automatización de la operación de los equipos.
- En busca de trasladar de manera eficiente los costos y beneficios de implementación del IoT en la tarifa de los usuarios finales, es necesario evaluar alternativas de remuneración de las nuevas necesidades de las empresas prestadoras de servicios públicos, como la ciberseguridad y la gobernanza de datos.

## **SOBRE LOS AUTORES**

**Diego Edison Sánchez Ochoa:** Profesional de proyectos de CIDET y coordinador de investigación y referenciamiento de la red colaborativa Colombia Inteligente. Ingeniero electricista y candidato a magister en ingeniería eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia.

**Juan David Molina Castro:** Líder de Gestión de la red colaborativa Colombia inteligente. Ingeniero electricista de la Universidad de Antioquia, especialista de la Universidad Nacional de Colombia, magister y doctor en sistemas de potencia de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

**Jaime Alejandro Zapata:** Gerente del Centro Nacional de Despacho en XM y presidente de la red colaborativa Colombia Inteligente, ingeniero electricista de la Universidad Pontificia Bolivariana, con especialización en derecho de los negocios de la Universidad Externado de Colombia y maestría en economía de la Universidad Eafit.