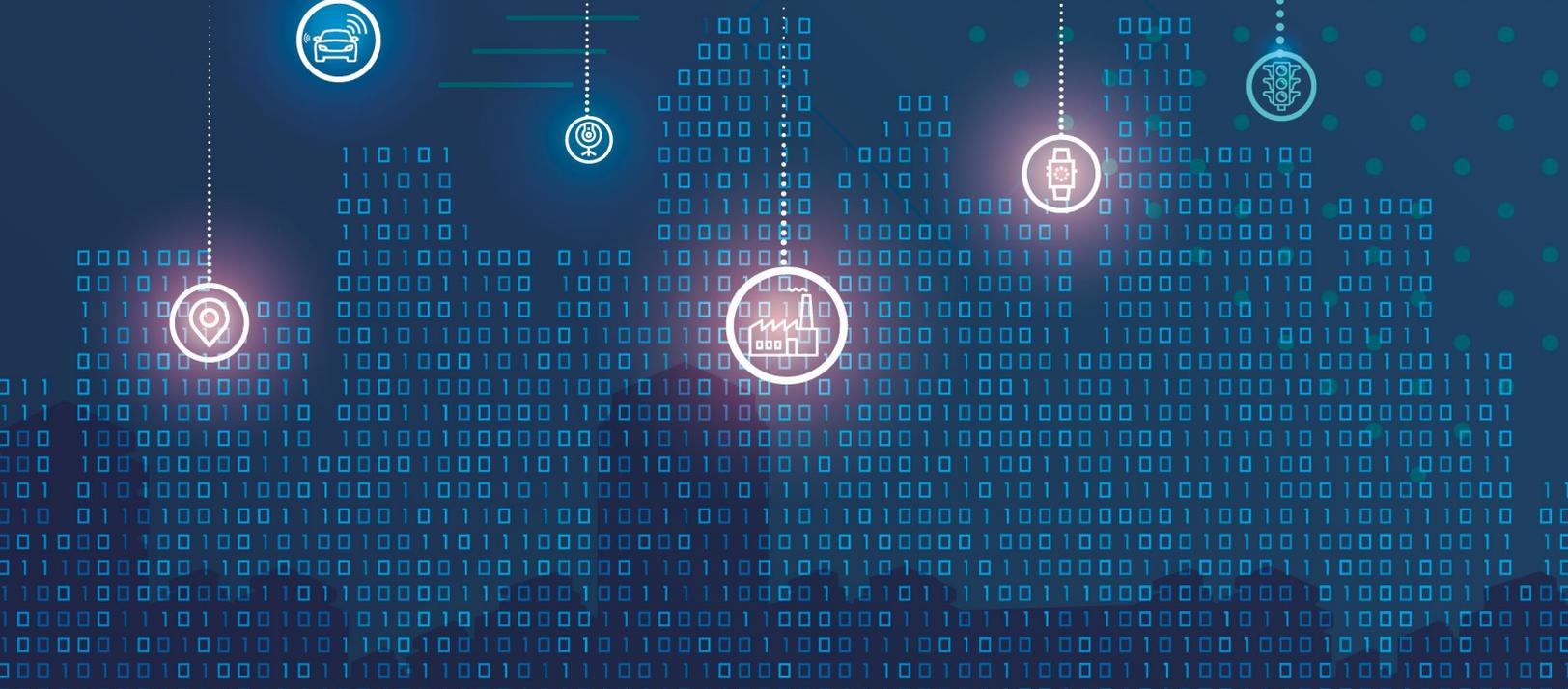


Análisis exploratorio de la comercialización de servicios de conectividad para



(Internet of Things)



Este informe fue elaborado por la Coordinación General de Planeación Estratégica (CGPE) con base en la información estadística obtenida mediante técnicas de ciencia de datos que van desde el análisis exploratorio hasta la automatización de consultas a sitios web para la sistematización y elaboración de bases de datos que permitan identificar patrones de comercialización entre los proveedores de Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) a nivel mundial. Se trata de técnicas de *web scraping*, que basadas en un programa diseñado e implementado completamente por la CGPE, bajo los estándares de seguridad y ética cibernética internacionalmente aceptados, permitieron generar una base de datos con los perfiles de las empresas que comercializan conectividad para IoT. El análisis estadístico de los resultados del *web scraping*, complementado con reportes y bases de datos especializadas, proveen un seguimiento puntual de la industria de IoT a nivel mundial.

En resumen, este documento es producto del análisis realizado por la CGPE a partir de fuentes públicas de información y técnicas de ciencia de datos, y no prejuzga sobre la opinión del Pleno del Instituto, de sus áreas sustantivas o de cualquier otra autoridad pública sobre el particular. El documento pretende proporcionar indicios sobre los patrones de comercialización de los servicios asociados al IoT a nivel mundial, con base en la información disponible y en apego a las metodologías más robustas y confiables disponibles en ciencia de datos.

Agradecemos los valiosos comentarios proporcionados por la Unidad de Espectro Radioeléctrico (UER), en particular a José de Jesús Arias Franco (Director General de Planeación del Espectro), Ricardo Castañeda Álvarez (Director General de Ingeniería del Espectro y Estudios Técnicos), Juan Pablo Rocha López (Director de Atribuciones del Espectro) y a David Tejeda Méndez (Director de Optimización de Radiocomunicaciones).

Estudio elaborado por:

-  **Pedro Javier Terrazas Briones,**
Coordinador General de Planeación Estratégica
-  **Rodrigo Guarneros Gutiérrez,**
Director General Adjunto de Prospectiva
y Análisis de Impacto Económico
-  **Jorge Eduardo Ponce Leyva,**
Director de Prospectiva
-  **Raúl Esqueda Martínez,**
Subdirector de Modelos Económicos
-  **Sandra Araceli Martínez Ruiz,**
Enlace de Análisis de Bases de Datos de Telecomunicaciones




ÍNDICE

Abreviaturas, siglas y acrónimos	4
Resumen Ejecutivo	6
Capítulo 1. ¿Qué es el Internet de las Cosas (IoT)?	10
Definiendo el IoT	11
Implementación y adopción del IoT	14
Descripción del entorno de IoT	18
Comercialización, cadena de valor y modelos de negocio aplicados al IoT	31
Cadena de valor de las soluciones de IoT	33
El papel de los proveedores de telecomunicaciones	36
Principales aplicaciones y usos del IoT	39
Capítulo 2. Análisis económico del IoT	47
Economía de redes	48
Estructura de la economía de redes	51
Economías de red en telecomunicaciones y en IoT	54
Capítulo 3. Análisis exploratorio de la comercialización de IoT	63
Análisis exploratorio de la comercialización de servicios de conectividad para IoT	64
Análisis exploratorio de datos de los proyectos de IoT	65
Análisis exploratorio de datos de IoT con <i>web scraping</i>	82
Resumen y consideraciones finales	100
Glosario de tecnologías	108
Anexo A Metodología de <i>web scraping</i>	113
Anexo B Ajustes del código utilizado	117



ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

3G: Tecnologías inalámbricas de tercera generación

4G: Tecnologías inalámbricas de cuarta generación

5G: Tecnologías inalámbricas de quinta generación

AIOTI: Alianza para la Innovación en Internet de las Cosas (*Alliance for the Internet of Things Innovation*, por sus siglas en inglés)

API: Interfaz de programación de aplicaciones (*Application Programming Interface*, por sus siglas en inglés)

ARPU: Promedio de ingresos por usuario (*Average Revenue Per User*, por sus siglas en inglés)

BLE: Bluetooth de baja energía (*Bluetooth Low Energy*, por sus siglas en inglés)

Bps: Bits por segundo

dB: Decibeles

EU: Unión Europea (*European Union*, por sus siglas en inglés)

FET: *FarEasTone Telecommunications*, Empresa de telecomunicaciones de Taiwán

Gbps: Gigabits por segundo, un Gigabit equivale a 1,000 millones de Bits

GHz: GigaHertz, múltiplo de 10^9 de la unidad de frecuencia del sistema internacional de unidades

GPRS: Servicio radioeléctrico general por paquetes (*General Packet Radio Service*, por sus siglas en inglés)

GPS: Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*, por sus siglas en inglés)

GSM: Sistema global para comunicaciones móviles (*Global System for Mobile communications*, por sus siglas en inglés)

GSMA: Asociación para el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (*GSM Association*, por sus siglas en inglés)

HSPA: Acceso de paquetes de alta velocidad (*High-Speed Packet Access*, por sus siglas en inglés)

IERC: *IoT European Research Cluster*

IFTTT: Plataforma de servicios para IoT (*if this, then that*, por sus siglas en inglés)

IoT: Internet de Todo (*Internet of Everything*, por sus siglas en inglés)

IoT: Internet de las Cosas (*Internet of Things*, por sus siglas en inglés)

IMT: Telecomunicaciones Móviles Internacionales (*International Mobile Telecommunications*, por sus siglas en inglés)

IP: Protocolo de Internet (*Internet Protocol*, por sus siglas en inglés)

IPv6: Protocolo de Internet versión 6 (*Internet Protocol version 6*, por sus siglas en inglés)

ITU: Unión Internacional de Telecomunicaciones (*International Telecommunication Union*, por sus siglas en inglés)

Kbps: Kilobits por segundo, un Kilobit equivale a 1,000 Bits

LAN: Redes de área local (*Local Area Network*, por sus siglas en inglés)

LTE: Evolución de largo plazo (*Long Term Evolution*, por sus siglas en inglés)

LTE-M: Estándar LTE para su uso con IoT (*Tecnología Long Term Evolution CatM1*, por sus siglas en inglés)

M2M: Máquina a Máquina (*Machine to Machine*, por sus siglas en Inglés)

MIIT: Ministerio de Industria e Información Tecnológica de China

MIT: Instituto Tecnológico de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology*, por sus siglas en inglés)

MHz: MegaHertz

Mbps: Megabits por segundo, un Megabit equivale a 1 millón de Bits

NB-Fi: *Narrowband Fidelity*

NB-IoT: Banda angosta para Internet de las Cosas (*Narrowband-IoT*, por sus siglas en inglés)

NBTC: *National Broadcasting and Telecommunications Commission* de Tailandia

NFC: Comunicación de campo cercano (*Near field communication*, por sus siglas en inglés)

OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

OTT: Servicios *Over The Top*

PLMN: Red Móvil Terrestre Pública (*Public Land Mobile Network*, por sus siglas en inglés)

RFID: Identificación por radiofrecuencia (*Radio Frequency Identification*, por sus siglas en inglés)

SIM: Módulo de identificación de suscriptor (*Subscriber Identity Module*, por sus siglas en inglés)

SMS: Servicio de mensajes cortos (*Short Message Service*, por sus siglas en inglés)

TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación

WAN: Redes de área extensa (*Wide Area Network*, por sus siglas en inglés)

Wh: Watts por hora

WiMAX: Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*, por sus siglas en inglés)

ZB: Zettabytes, equivale a 10^{21} Bytes



RESUMEN EJECUTIVO

Los reguladores de telecomunicaciones y/o radiodifusión deben estar cerca de las nuevas tecnologías y considerar las consecuencias potenciales de los más recientes adelantos tecnológicos. Lo anterior, valorando los riesgos, costos y beneficios asociados con una nueva forma de producir, consumir, distribuir y, en general, interactuar; buscando siempre mantener un balance entre la protección a los consumidores, promover la innovación, evitar fallas de mercado, generar condiciones de competencia económica, favorecer los derechos de los usuarios y las audiencias, promover la inversión, entre otros.

En estricto sentido, para que el regulador o autoridad de competencia tenga la capacidad de balancear sus esfuerzos entre procurar el proceso de competencia y libre concurrencia, proteger a los ciudadanos y promover la innovación y la inversión, **se considera necesario entender y analizar el contexto tecnológico.**

Este estudio parte de un contexto tecnológico definido. Magnus Unemyr (2017) señala esencialmente que la “primera ola” de Internet consistió en el crecimiento de las computadoras personales conectadas. La “segunda ola” fue acercar el Internet a la gente utilizando dispositivos móviles. El contexto en el que se realiza el presente análisis es el referido por Unemyr como la “tercera ola” de Internet, que consiste en conectar todas las cosas electrónicas a Internet (el Internet de las Cosas). Finalmente, Unemyr identifica una “cuarta ola”, el Internet de Todo (IoE, por sus siglas en inglés), que consiste en conectar todo, incluyendo personas y animales que estarán conectados a través de un accesorio y sensores implantados quirúrgicamente⁰¹.

01 | Unemyr, M. (2017), *The Internet of Things – The Next Industrial Revolution Has Begun. How IoT, Big Data, predictive analytics, machine learning and AI will change our lives forever*, November, 2017.

Ante la evolución tecnológica y el crecimiento inminente en los requerimientos de conectividad derivados de los dispositivos IoT en México, la CGPE presenta este documento con un enfoque que parte de tres capítulos:

- El Capítulo 1 tiene como objetivo **recopilar la información básica respecto a la industria de IoT y sus principales características técnicas**; comprende un conjunto de conceptos y la definición de la cadena de valor en esta industria, partiendo de una pregunta fundamental: *¿Qué es el Internet de las Cosas?*
- El Capítulo 2 tiene como objetivo **presentar una visión ordenada y sistemática sobre el IoT**, partiendo de un marco teórico de economía de redes y basado en las investigaciones más recientes al respecto. Se trata de una aproximación que ordena los conceptos del capítulo previo y proporciona una visión sistemática para facilitar el análisis de esta industria y, en particular, la comercialización de sus servicios.
- El Capítulo 3 busca **analizar empíricamente la comercialización de IoT a partir de herramientas de ciencia de datos**, particularmente se presenta un análisis exploratorio de los datos sobre la comercialización de IoT a nivel mundial y de una base de datos construida a partir de técnicas de *web scraping*, útil para la generación de bases de datos a partir de consultas automatizadas a las páginas de Internet de proveedores de servicios de IoT alrededor del mundo, por medio de un código construido internamente.

Este estudio recaba información de la industria respecto a las múltiples opciones de conectividad disponibles para el ecosistema de IoT, describiendo las características técnicas y usos de cada una. Lo anterior está estrechamente ligado a los requisitos técnicos para el despliegue masivo de servicios IoT, tales como un alto grado de cobertura en exteriores e interiores, la necesidad de que la tecnología de conectividad sea segura, flexible, de bajo consumo de energía y sencilla de provisionar, administrar y escalar, al tiempo que permite entregar servicios robustos con latencias aceptables para su fin último.

Existen diferentes soluciones de conectividad que se están aplicando en función de sus características y considerando el tipo de servicio que prestan:

1. **Soluciones de conectividad en bandas de frecuencia clasificadas como espectro libre**; sin costo aunque susceptibles a la saturación de dispositivos conectados lo que provoca congestión y la interferencia por incompatibilidad entre diferentes tecnologías por lo que se utilizan para servicios de corto alcance. (v.gr. Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, y Z-Wave);



- II. **Soluciones de largo alcance y baja potencia** (LPWA, por sus siglas en inglés); su uso se ha extendido a aplicaciones que requieren poco intercambio de información o intercambio de información en momentos puntuales, sin embargo, únicamente el 20% de la población global está cubierta con este tipo de tecnología, lo que disminuye sus posibilidades de ser utilizada (v.gr. Link Labs, LoRa, Sigfox, Weightless);
- III. **Tecnologías compatibles con redes móviles específicas para IoT**, donde se incluye el LTE-M y la banda angosta para Internet de las Cosas (NB-IoT, por sus siglas en inglés) que pertenece a las tecnologías LPWA y fue específicamente desarrollada para IoT;
- IV. **Tecnología LTE 4G**. Es capaz de ofrecer banda ancha por encima de los 100 Mbps y un gran rango de cobertura, cerca de los diez kilómetros⁰², pero con el inconveniente de los altos costos con relación a otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi. Esta tecnología tiene también requerimientos de energía muy altos lo que puede disminuir su adopción para IoT, donde se busca que las baterías de los dispositivos se extiendan el mayor número de años posible sin recarga, y
- v. **Conectividad satelital y de microondas**. Esta opción es utilizada por la industria de IoT si la tecnología celular o de fibra óptica no está disponible, en virtud de que es más costosa que estas dos alternativas. Esta tecnología tiene bandas bajas a medias, de amplio rango y de media a baja confiabilidad y viabilidad debido a la alta latencia, lo que puede hacer que esta tecnología no sea propicia para aplicaciones IoT sensibles a la latencia. En este sentido, sólo algunas industrias podrían utilizarla, entre ellas la automotriz.

Se destaca el desarrollo de las redes celulares 5G como posible **solución universal de conectividad para IoT**. Sin embargo, su despliegue no es inmediato.

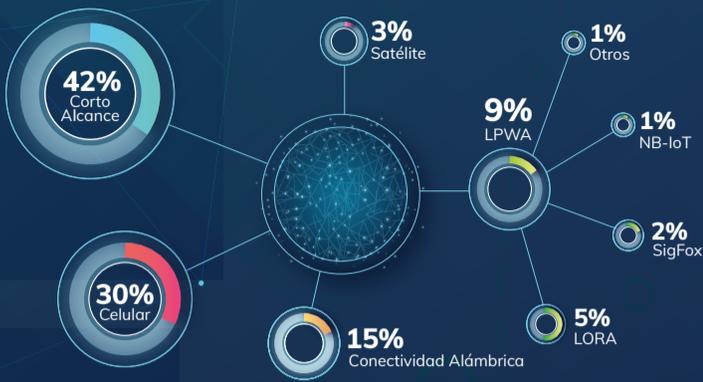
La proliferación de dispositivos conectados y la reducción en el costo de los sensores, así como mayor poder de procesamiento y disponibilidad de banda ancha para conectar esos dispositivos, permiten la creación de nuevos modelos de negocio y nuevas formas de comercialización de conectividad que son el objeto de estudio de este documento.

Durante la investigación, se encontraron las siguientes implicaciones regulatorias para México:

- (i) Promover el desarrollo de la industria de IoT y la difusión de sus beneficios;
- (ii) Coadyuvar en los esfuerzos internacionales para la homologación de dispositivos y tecnologías de conectividad;
- (iii) Promover el desarrollo y disponibilidad de tecnologías de conectividad ad hoc para este tipo de servicios (v.gr. 5G, LTE-M, NB-IoT, espectro libre) y
- (iv) Explorar la posibilidad de replicar experiencias como las zonas de innovación establecidas por la FCC.

02 | La cobertura es estimada por radiobase y en bandas menores a 1 GHz. Para bandas más altas, la cobertura por radiobase es menor.

Existen diferentes soluciones de conectividad para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) en función de sus características y considerando el tipo de servicio que prestan:



Las tecnologías **LPWA** presentan una asociación intensa y positiva con los proyectos que requieren más de **10,000** dispositivos conectados, regularmente en actividades de **Gestión de Recursos Naturales e Infraestructura Civil**.

La tecnología **Celular** presenta una asociación positiva con proyectos de menos de **100** dispositivos conectados, esta tendencia podría cambiar a medida en que aumente la cobertura LTE y, particularmente, con el despliegue de redes 5G.

Las industrias IoT para **Personas, Equipamiento Industrial, Edificios e Infraestructura Civil** recurren normalmente a tecnologías de conectividad de **Corto Alcance**.



Se identifica una alta atracción entre los proyectos de IoT dirigidos a **Vehículos** y los servicios de comunicación **Satelital**.



Respecto al número total de proyectos IoT a nivel mundial, destacan los despliegues en **Equipamiento Industrial (20%), Infraestructura Civil (16%), Edificios (14%) y Personas (13%)**.



Las condiciones tecnológicas para el desarrollo del IoT han evolucionado positivamente y ha crecido el interés en la estandarización de los dispositivos de IoT con el fin de garantizar:



El **IFT** utilizó técnicas de ciencia de datos para identificar patrones globales para la comercialización de IoT

Web Scraping
Extracción automática de información de páginas web



Geocodificación
a través de la API de Google



De acuerdo con **la información obtenida, la oferta de servicios asociada a los mercados laterales está considerablemente atomizada**, dando como resultado un universo muy amplio de estrategias comerciales de IoT

Se aprecia que el **61%** de las empresas analizadas tienen una estrategia única y se especializan en un mercado lateral



22 ofertas de servicios IoT disponibles en línea

- Energía y Servicios Públicos
- Medicina y Cuidado de la Salud
- Industria Manufacturera
- Otras Aplicaciones
- Logística y Transporte
- Control y Monitoreo Remoto de Transporte
- Seguimiento y Gestión de Activos
- Puntos de Venta e Internet
- Otras 14 actividades

18 perfiles y tipo de clientes de plataformas IoT

- Vendedores y desarrolladores de *software* para plataformas de servicio de entrega
- Vendedores y productores de componentes de *hardware* (dispositivos, módulos y enlaces)
- Proveedores de Soluciones M2M de Extremo a Extremo
- Empresas que ofrecen sus servicios profesionales para el desarrollo de *software* y *hardware*
- Proveedores de conectividad, inalámbrica, línea fija, satélite y operadores móviles virtuales
- Proveedores de servicios de control y manejo de información y sistemas
- Servicio de aplicaciones en la Nube
- Proveedores de soluciones para servicios M2M
- Otros 10 perfiles y tipos de clientes

Implicaciones regulatorias

El IFT deberá promover el desarrollo de la industria de IoT y la difusión de sus beneficios

Coadyuvar en los esfuerzos internacionales para la homologación de dispositivos y tecnologías de conectividad

Promover el desarrollo y disponibilidad de tecnologías de conectividad ad hoc para este tipo de servicios (v.gr. 5G, LTE-M, NB-IoT, espectro libre)

Explorar la posibilidad de replicar experiencias como las zonas de innovación establecidas por la FCC



CAPÍTULO 1.

¿QUÉ ES EL INTERNET DE LAS COSAS (IoT)?

El Internet ha cambiado la forma en que producimos, distribuimos y consumimos bienes y servicios. La creciente conectividad ha generado que el uso de Internet se generalice en la vida cotidiana y en diversas actividades económicas; en este sentido, el uso exponencial de información y el valor de los datos que se generan en la red, han creado la necesidad de conectar no únicamente a las personas, también a los objetos a través de sensores y aplicaciones, multiplicando las posibilidades para mejorar la vida de las personas y sus entornos. Este fenómeno origina el concepto del Internet de las Cosas (IoT).

Un amplio rango de productos y servicios de prácticamente todos los sectores económicos han transitado hacia la conectividad debido a los beneficios que ello implica. Sin embargo, la transición global a una economía y estilo de vida digital está sucediendo más lentamente en las economías menos desarrolladas, derivado de las condiciones necesarias para el desarrollo de esta nueva revolución tecnológica, entre las que destacan:

- I. **Retos tecnológicos tales como una conectividad a Internet más rápida y estable**, con fuente de alimentación continua, sistemas de respaldo robustos e infraestructura confiable y escalable.
- II. **La recepción, transmisión y almacenamiento de montos considerables de datos implica también incrementos significativos en el consumo de energía.** Cerca del 10% de la energía eléctrica consumida a nivel mundial es utilizada en Internet⁰³. Debido a ello, la planeación del suministro eléctrico se convierte en un tema relevante para el despliegue de IoT.

Según datos de ©GSMA *Intelligence*, el número global de conexiones IoT llegarán a los 25 mil millones en 2025, y estarán valuadas en \$ 1,113 billones de dólares.

Fuente: ©GSMA Intelligence (2019), *The Mobile Economy 2019*. Página (3). Disponible en: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/>

03 | Disponible en: <https://www.dexma.com/es/cuanta-energia-consume-la-web/>

- III. La probabilidad de buen funcionamiento de los dispositivos depende de si son robustos, disminuyendo el riesgo de intervención no autorizada; y eficientes en energía, aptos incluso para utilizar energía solar. Lo anterior cobra relevancia si se considera que en el caso de redes de baja densidad de cobertura surge la necesidad de que el dispositivo retransmita y, por consiguiente, requiera más energía.
- IV. El capital humano necesario para operar y mantener las plataformas de IoT.
- V. La estandarización e interoperabilidad de los dispositivos de IoT con baterías de larga duración y su compatibilidad con diferentes tecnologías de conexión inalámbrica (utilizando por ejemplo espacios blancos en las radiofrecuencias de radiodifusión).

A pesar de los retos para su implementación, el IoT ya se encuentra presente en dispositivos de efecto catalizador, como el teléfono inteligente, que incluye múltiples sensores como: acelerómetro, giroscopio, magnetómetro, GPS, podómetro, termómetro, etc., y que en efecto pondrá al IoT en manos de 3,500 millones de personas en 2020, lo que equivale al 44.9% de la población mundial⁰⁴. En el caso específico de México, esta cifra se registró en 76.2 millones de usuarios de teléfonos inteligentes en 2019⁰⁵, lo que equivale a 60.2%⁰⁶ de la población total en ese año.

Definiendo el IoT

El término “Internet de las Cosas” fue mencionado por primera vez en 1999 por Kevin Ashton, en una presentación del Auto-ID Center del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT, por sus siglas en inglés) que trabajaba en la identificación por radiofrecuencia (RFID) en red y en la detección por sensores⁰⁷. En aquel momento, se comenzaba a dimensionar la importancia y los beneficios de recolectar información directamente de objetos y sensores, permitiendo hacer un seguimiento en tiempo real de su utilización, sus características, su vida útil, la necesidad de nuevos suministros, su estado de funcionamiento, etc., que se traduciría en un aumento de productividad y de reducción de costos⁰⁸.

04 Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>

05 INEGI (2019), *Comunicado de Prensa, Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares*. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/ENDUTIH_2019.pdf

06 Según datos de CONAPO, la población de México a mitad de año de 2019 fue de 126,577,691 habitantes, disponible en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Datos_Abiertos/Proyecciones2018/pob_mit_proyecciones.csv

07 Ashton, K. (2009), *That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas*. Disponible en: <https://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>

08 Barrio, M. (2018), *Internet de las Cosas*. Página (20). Disponible en: https://www.editorialreus.es/static/pdf/primeras-paginas_9788429020380_internetdelascosas.pdf

Para la ITU, el IoT se define como una infraestructura global para la sociedad de la información, permitiendo servicios avanzados mediante la interconexión (física y virtual) de cosas basada en tecnologías de información y comunicación interoperables, existentes y en evolución (recomendación ITU-T Y.2060)⁰⁹. En este sentido, el IoT gira alrededor de las “cosas” que pueden identificarse e integrarse con las redes de comunicaciones; cosas físicas que son capaces de ser detectadas, activadas y conectadas. Por ejemplo, robots industriales, bienes y equipos eléctricos; así como, elementos virtuales que son capaces de almacenarse, procesarse y accederse¹⁰.

Para la OCDE la definición de IoT es más amplia, comprende a **dispositivos y objetos cuyo estado puede alterarse a través de Internet, con o sin la participación activa de las personas**. Esta definición permite incluir a los dispositivos tradicionales como laptops, routers, servidores, tablets, teléfonos inteligentes, entre otros, y a los **dispositivos autónomos**. La OCDE identifica cuatro elementos fundamentales del IoT: (i) datos masivos, (ii) almacenamiento en la nube, (iii) la comunicación M2M, y (iv) los sensores; en conjunto estos elementos permiten mejorar las aplicaciones basadas en el aprendizaje automático y control remoto¹¹.

El IoT permite a las cosas físicas y virtuales integrarse en la red de la información y contar con identidades, atributos y personalidades utilizando interfaces inteligentes, aplicaciones y servicios con la capacidad de autoconfiguración basada en protocolos de comunicación estándar¹² donde es posible consultar su estado y cualquier información asociada con ellos¹³ creando oportunidades para la integración entre el mundo físico y virtual, lo que genera mayor eficiencia, exactitud y beneficios económicos¹⁴. Además de un mundo donde objetos físicos y virtuales se integran perfectamente en la red de información, el IoT permite recolectar volúmenes masivos de información que deben procesarse y convertirse en participantes activos en los procesos empresariales, generando valor y mejorando los resultados comerciales.

09 ITU (2012), *Series Y: Global Information Infrastructure, Internet Protocol Aspects and Next-Generation Networks: Overview of the Internet of Things*. Página (2). Disponible en: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.2060-201206-!!!PDF-E&type=items y <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=y.2060>

10 *Ídem*

11 OCDE (2015), *OECD Digital Economy Outlook 2015*. Página (61). Disponible en: https://read.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-digital-economy-outlook-2015_9789264232440-en#page1

12 Vermesan, O. y Friess, P. (2015), *Building the hyperconnected society. IoT research and innovation value chains, ecosystems and markets*. Página (25). Disponible en: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/Building_the_Hyperconnected_Society_IERC_2015_Cluster_eBook_978-87-93237-98-8_P_Web.pdf?bcsi_scan_95c8aec8c177a0e8=1

13 Barrio, M. (2018), *Internet de las Cosas*. Página (21). Disponible en: https://www.editorialreus.es/static/pdf/primeras-paginas_9788429020380_internetdelascosas.pdf

14 5G Americas (2016), *Internet de las Cosas en América Latina*. Página (5).

Durante sus primeros años de desarrollo, el IoT ha evolucionado y se ha ido redefiniendo en múltiples ocasiones, sin embargo, desde sus primeras implementaciones se pueden identificar características esenciales para su desarrollo, tales como: (i) la interoperabilidad de las tecnologías utilizadas; (ii) la conectividad; (iii) el Internet; (iv) los sensores; (v) el espectro radioeléctrico y, por supuesto, (vi) los objetos que son aptos para conectarse (*hardware*), tal y como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1		Hitos en la historia reciente de IoT	
Año	Hito		
1982 - 1990	En 1982, programadores de Carnegie Mellon University conectaron una maquina dispensadora de refrescos a Internet, permitiéndoles revisar si la maquina contaba con bebidas frías antes de comprar. Mientras que en 1990, John Romkey conectó una tostadora a Internet permitiendo encenderla y apagarla remotamente ¹⁵ .		
1999	Se utiliza por primera vez, el término "Internet de las Cosas" mencionado por Kevin Ashton para explicar el potencial beneficio de sus trabajos en la identificación por radiofrecuencia o RFID, por sus siglas en inglés ¹⁶ .		
2000	LG anunció sus primeros planes de producir un refrigerador conectado al Internet, que permitía mantener un registro de lo que se almacenaba en el refrigerador; sin embargo, la idea a pesar de lo novedoso para su tiempo, aún resultaba una solución muy costosa para los consumidores ¹⁷ .		
2003	La identificación por radiofrecuencias se implementa en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para rastrear 300,000 contenedores en 40 países diariamente ¹⁸ .		
2005	ITU publica su primer informe sobre IoT ¹⁹ .		
2008	Se celebra la primera conferencia sobre IoT en la Unión Europea ²⁰ . Alianza IPSO promueve el uso de IP en redes de "Objetos inteligentes" y habilitar IoT.		
2009	El Grupo de Soluciones Comerciales de CISCO comienza la comercialización de IoT.		
2010	El gobierno de China considera al IoT como una "industria clave" para el desarrollo y lo incluye como parte de sus planes de desarrollo de largo plazo ²¹ .		

15 | Reporte disponible en: https://www.cs.cmu.edu/~coke/history_long.txt

16 | Vision Critical (2017), *Meet Kevin Ashton, the visionary technologist who named the Internet of Things*. Disponible en: <https://www.visioncritical.com/blog/kevin-ashton-internet-of-things>

17 | RYT9: (2000), *LG Introduced Internet Digital DIOS Refrigerator*. Disponible en: <https://www.ryt9.com/es/prg/23392>

18 | Rafiq, M. (2003), *Radio Frequency Identification (RFID): Its Usage and Libraries*. Página (9). Disponible en: <http://eprints.rclis.org/6179/1/RFID.pdf>.

19 | Disponible en: https://www.itu.int/osg/spu/publications/internetofthings/InternetofThings_summary.pdf

20 | International Conference for Industry and Academia March 26-28, 2008 / Zurich. Disponible en: <https://iot-conference.org/iot2008/>

21 | Disponible en: https://www.uscc.gov/sites/default/files/Research/SOSi_China's%20Internet%20of%20Things.pdf

Tabla 1		Hitos en la historia reciente de IoT
Año	Hito	
2011	Lanzamiento público de IPv6: el nuevo protocolo con 2 ¹²⁸ direcciones de Internet. Nace la Iniciativa Mundial de Normalización sobre Internet de las Cosas (IoT-GSI) de la UIT ²² para promover la adopción de un enfoque unificado para la elaboración de normas técnicas y recomendaciones sobre el IoT a escala mundial.	
2013	Durante 2013, Google lanzó al mercado las Google Glass, un dispositivo de visualización de realidad aumentada. Este dispositivo implicó un paso entre la interacción del IoT y los wearables ²³ .	
2014	Amazon da a conocer el Echo y establece los inicios del mercado del <i>Smart Home</i> .	
2016	General Motors, Lyft, Uber y Tesla comienzan a probar automóviles autónomos.	
2018	Inician pruebas para 5G en los olímpicos de invierno en Pyeong Chang, Corea ²⁴ .	
2019	De acuerdo con las estimaciones de IDC, más de 150 mil millones de dispositivos estarán conectados para 2025. Para ese mismo año se espera que el monto total de datos digitales creados a nivel mundial sea de 175 ZB ²⁵ (338% más que los reportados en 2019, 40 ZB), de los cuales el 60% será creado y administrado por organizaciones empresariales y el 49% de ese universo residirá en la nube ²⁶ .	

Fuente: IFT con datos de Goyal, K. (2018), *A Literature Survey on Internet of Things*. Int. J. Advanced Networking and Application. Página (3664). Disponible en: <http://oaji.net/articles/2017/2698-1528118826.pdf> y Braun, A. (2019), *History of IoT: A Timeline of Development*. Disponible en: <https://www.iottechrends.com/history-of-iot/>.

Implementación y adopción del IoT

Como se señaló previamente, el IoT es una red de cosas y personas conectadas que se ha visto beneficiada por factores y avances tecnológicos. Por ejemplo, el acceso a tecnología de sensores de bajo costo y baja potencia, conectividad inalámbrica, plataformas de *Cloud Computing*, *Machine Learning*, *Big Data* e Inteligencia Artificial²⁷.

22 Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/OB/04/TOB0400003C2C01PDFS.pdf

23 D'Onfro, J. (2015), *An insider's look at the tumultuous launch of Google Glass*. Disponible en: <https://www.businessinsider.com/google-glass-launch-2015-2>

24 ITU (2018), *KT showcases 5G innovation at the Olympics in PyeongChang*. Disponible en: <https://news.itu.int/kt-showcase-5g-olympics/>

25 Unidad de almacenamiento de información 10²¹ bytes. Algunos cálculos informales estiman que un zettabyte es equivalente a 36,000 años de video de alta definición, o el equivalente a 3,177 veces el contenido de *streaming* disponible en Netflix en 2015. Véase artículo de The Guardian (2011), *What's a zettabyte? By 2015, the internet will know, says Cisco*. Disponible en: <https://www.theguardian.com/technology/blog/2011/jun/29/zettabyte-data-internet-cisco>

26 IDC (2018), *"The Digitalization of the World: From Edge to Core"*. Disponible en: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>

27 Oracle (2019), *¿Qué es IoT?*. Disponible en: <https://www.oracle.com/mx/internet-of-things/what-is-iot.html>

Las condiciones tecnológicas para el desarrollo del IoT siguen evolucionando positivamente, considerando que los dispositivos son cada vez menos costosos y están integrados, es decir, contienen un **chip, sensores y actuadores** (*componentes de una máquina que son responsables de mover o controlar un mecanismo o sistema*); y permiten cada vez más autonomía mediante sistemas de gestión eficiente de energía²⁸.

Los sensores funcionan como habilitadores dentro de las soluciones IoT con el fin de recolectar y enviar la información necesaria para llevar a cabo el propósito de dicha solución. Por ejemplo, algunos sensores miden: posición, ocupación, velocidad, fuerza, presión, corriente, humedad, luz, radiación, temperatura, cambios químicos, niveles de sonido, etc. Recientemente, los sensores han disminuido su precio y su tamaño y aumentado significativamente sus capacidades, lo que impulsa el uso de sensores en un amplio rango de aplicaciones y, en consecuencia, favorece la evolución del ecosistema IoT²⁹.

En general, los dispositivos IoT con sensores pueden utilizarse para las siguientes aplicaciones: **(i)** para la medición de elementos externos (*v.gr.* temperatura, clima, contaminación ambiental, entre otros), y **(ii)** como actuadores para el control y operación de elementos físicos (*v.gr.* compuertas, líneas de producción, entre otros).

Existe una gama de tecnologías disponibles para la **conectividad** de IoT, dependiendo de las necesidades y características propias de cada solución. Para el IoT, son esenciales tanto las redes con cables como las inalámbricas. Las redes con cables ofrecen gran capacidad, pero su ubicación es fija. Las redes inalámbricas, por otro lado, tienen flexibilidad en cuanto a ubicación y movimiento, pero a menudo presentan limitaciones de ancho de banda y consumo de energía³⁰. Para el despliegue masivo de servicios IoT, es un requisito considerar un alto grado de cobertura, en exteriores y sobre todo en interiores³¹. Además, se requiere que las tecnologías utilizadas en IoT sean seguras, flexibles, de bajo consumo de energía y sencillas de provisionar, administrar y escalar al tiempo que entregan robustez y latencias aceptables en su desempeño³².

28 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el sector empresarial en América Latina*. Página (19). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/#>

29 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el sector empresarial en América Latina*. Página (29). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/#>

30 OCDE (2015), *Perspectivas de la OCDE sobre la economía digital 2015*. Página (281). Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/perspectivas-de-la-ocde-sobre-la-economia-digital-2015_9789264259256-es-;jsessionid=sDa1VBUjpV9JQ9NVD6oXLbH.ip-10-240-5-45

31 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el sector empresarial en América Latina*. Página (19). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/#>

32 5G Americas (2016), *Internet de las Cosas en América Latina*. Página (4).

Con la expansión y aparición de nuevas soluciones de IoT se generan volúmenes considerables de datos, que requieren mayor capacidad de transmisión y menor latencia, por lo que estas conexiones no podrían suceder sin la infraestructura de red apropiada³³, por ejemplo, el aumento de la tasa de transferencia de datos, en los últimos 30 años se ha incrementado desde los 2 Kbps hasta 1 Gbps. Existen otros factores que han hecho posible la adopción de soluciones IoT, como la disminución del precio de tránsito por Internet; es decir, el precio a pagar por los proveedores de servicios para transferir datos de un punto de la red a otro; el incremento de la eficiencia en potencia y la adopción de IPv6³⁴.

El crecimiento exponencial de dispositivos representa un problema para los desarrolladores en cuanto a **compatibilidad, interoperabilidad y escalabilidad**. Por ejemplo, es necesario que la variedad de dispositivos físicos heterogéneos, como soporte de varios protocolos de comunicación, estén conectados y funcionando en diferentes plataformas, lo que hará posible la interacción de un dispositivo de IoT utilizando diferentes interfaces y representaciones³⁵; es decir, asegurar la interoperabilidad.

En este sentido, se espera que los dispositivos para IoT cuenten con características comunes tales como³⁶:

- **Bajo consumo de energía y baterías de larga duración:** Habilitar dispositivos IoT para utilizar bajos niveles de corriente eléctrica (en el rango de los nanos amperes) y que cuenten con baterías simples con carga para al menos 10 años de duración con capacidad de 5Wh.
- **Mejorar en la cobertura externa e interna:** La meta es alcanzar una cobertura extendida de 20 dB comparada con las redes GPRS existentes (Servicio Radioeléctrico General por Paquetes, por sus siglas en inglés). La tasa de datos para estos dispositivos debería ser de 160 Kbps tanto de subida como de bajada. Esta meta no incluye a dispositivos IoT que requieren tasas altas de transmisión.
- **Baja complejidad:** La meta es proveer dispositivos de baja complejidad para soportar aplicaciones IoT que resulten en costos bajos.
- **Baja latencia:** La meta para el 99% de los dispositivos es una latencia de 10ms o menos. Sin embargo, no todas las aplicaciones IoT requieren de latencias bajas, por ejemplo, aplicaciones de medidores de consumo de agua o gas, sensores agrícolas, etc., cuyo ciclo de trabajo es bajo podrían tener latencias más altas sin perjudicar su operación eficiente.
- **Bajos costos:** Se busca que los dispositivos tengan un costo unitario de \$5 dólares en promedio.

33 Nokia (2018), *Making Global IoT Connectivity a Reality*. Disponible en: <https://www.nokia.com/blog/making-global-iot-connectivity-reality/>

34 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el sector empresarial en América Latina*. Página (31-32). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/#>

35 River Publishers (2018), *Advancing IoT platforms interoperability. European Platforms Initiative*. Página (67). Disponible en: <https://iot-epi.eu/wp-content/uploads/2018/07/Advancing-IoT-Platform-Interoperability-2018-IoT-EPI.pdf>

36 Century Writer (2020), *Connectivity Internet of Things 2020*.

Estas características se deben ver desde un punto de vista integral, considerando las relaciones entre usuarios y dispositivos, la arquitectura de *software* y las redes de comunicación presentes para procesar y transmitir información y de herramientas analíticas del IoT que se enfoquen en la **autonomía y el comportamiento inteligente**³⁷ como el *Big Data*, *Cloud Computing*, *Machine Learning* e Inteligencia Artificial.

Figura 1 Requerimientos para la implementación del IoT



◀ Fuente: IFT, elaboración propia.

La premisa que se desprende de lo anterior sugiere que en la medida en que los requerimientos para su implementación se encuentren presentes junto con políticas específicas que impulsen el desarrollo del IoT, la capacidad de adaptación y adopción de esta tecnología por parte de las diferentes actividades económicas será más rápida y segura³⁸.

37 Gubbi, J. et al (2013), *Internet of Things (IoT): A visión, architectural elements, and future directions*. Future Generation Computer Systems Vol. 29. Página (1645-1646). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X13000241>

38 Si bien el tema de seguridad en IoT rebasa el alcance de este estudio, se debe reconocer que los dispositivos conectados a las plataformas IoT podrían proveer una "puerta trasera" dentro de las redes privadas. El regulador generalmente no debe interferir en las decisiones de adopción tecnológica; sin embargo, algunos países han emitido recomendaciones respecto al uso de IoT y la necesidad de proteger la privacidad de datos, particularmente por el riesgo que representa el hecho de que 70% de los dispositivos en IoT en 2014 se consideraban vulnerables a ataques externos, conforme al reporte de Hewlett-Packard Enterprise (2014), disponible en: <https://www8.hp.com/us/en/hp-news/press-release.html?id=1744676>. Por ejemplo, la Comisión Federal de Comercio de EE.UU. realizó un reporte detallado con mejores prácticas en noviembre de 2015 para recomendar a las empresas la protección de la privacidad y seguridad de los usuarios de 25 mil millones de dispositivos (Disponible en: <https://www.ftc.gov/news-events/press-releases/2015/01/ftc-report-internet-things-urges-companies-adopt-best-practices>). Del mismo modo, en Octubre de 2018, el Departamento para la Digitalización, Cultura, Media y Deportes del Reino Unido emitió un Código de Buenas Prácticas para la Seguridad de los Consumidores de IoT (Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/773867/Code_of_Practice_for_Consumer_IoT_Security_October_2018.pdf).

Pero, ¿Cuáles son esos requerimientos de implementación mínimos que se identifican para el desarrollo de IoT en México? La siguiente sección pretende responder a esta pregunta, describiendo el entorno para la provisión de servicios IoT, identificando lo que se entiende por este concepto y considerando que el entorno de IoT es complejo, no solamente por la necesidad de sensores, dispositivos, redes de comunicación y soluciones, también por las múltiples capas que operan simultáneamente comunicándose entre sí de manera eficiente³⁹.

Descripción del entorno de IoT

Por la forma en que se estructura, las interacciones de las múltiples capas del IoT son **reiterativas**, la comunicación de los sensores de los dispositivos, la generación de información, el análisis y procesamiento de la misma, se relacionan entre sí y se repiten todo el tiempo; es decir, las múltiples capas del IoT interactúan entre ellas. A efectos de explicar con mayor detalle estas interacciones entre los distintos dispositivos, se describirán brevemente las capas que conforman el entorno de IoT y su relación (ver Figura 2).

Figura 2 Capas que conforman el entorno del Internet de las Cosas



❏ Fuente: IFT con información de European Commission (2017), *Cross-Cutting Business Models for IoT*. PWC. Página (33-40). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849

39 | European Commission (2017), *Cross-Cutting Business Models for IoT*. PWC. Página (33). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849

1. Capa física

Esta capa representa el *hardware*, y corresponde a una amplia gama de dispositivos, que son capaces de capturar, procesar y transmitir información de su entorno, a partir de las siguientes características:



• **Interfaz de usuario:** Algunos dispositivos conectados requieren de una interfaz de usuario a través de la cual los usuarios interactúan con el dispositivo. Estos dispositivos usualmente tienen una variedad de botones y puertos, generalmente tienen capacidades gráficas o de tamaños de pantalla limitadas, e incorporan reconocimiento por voz o facial.



• **Módulo de Conectividad:** El módulo de conectividad de un dispositivo de IoT permite la transmisión y recepción de información de otros dispositivos o servicios de la nube.



• **Sensores y actuadores:** Un sensor es un transductor que es capaz de detectar ciertos cambios en el entorno y un actuador es un componente que acepta una señal digital para producir un cambio físico o de medición en el ambiente.



• **Cómputo y almacenamiento en el dispositivo:** Generalmente, los dispositivos conectados están limitados en términos de batería (energía) y almacenamiento. Para hacer frente a estas restricciones, se han desarrollado unidades de procesamiento y almacenamiento, cada una con un uso optimizado de energía, para proveer un mínimo de funciones optimizadas para IoT⁴⁰.



2. Capa de comunicación de red

En esta capa se encuentran las comunicaciones y la conectividad, su función es proveer transmisiones de información confiables y oportunas. Estas transmisiones se dan entre dispositivos de la capa física con las redes; y entre las redes y el procesamiento de información en las capas de procesamiento.

Los dispositivos para IoT interactúan en este eslabón de la cadena de valor utilizando conexiones físicas (DSL, cable coaxial, fibra óptica) y radiocomunicaciones, que dependiendo de sus características físicas usualmente son⁴¹ (ver Tabla 2):

40 European Commission (2017), *Cross-Cutting Business Models for IoT*. PWC. Página (34-36). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849

41 **Corto alcance, baja potencia:** En este segmento se encuentran dispositivos conectados por radio sin licencia con un alcance de hasta alrededor de 100 metros. **Mediano alcance:** se refiere a las tecnologías de acceso para IoT cuya emisión de radio frecuencia máxima es alrededor de 1 km entre dos dispositivos. **Largo alcance, baja potencia:** se refiere a un grupo de tecnologías de baja potencia y área extensa que cuentan con vida de batería de más de 10 años, conectividad en áreas extensas, bajo costo de chips y redes, y limitada capacidad en comunicación de información.

- **Corto alcance, baja potencia:** Identificación de radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés), comunicaciones de proximidad (NFC, por sus siglas en inglés), Bluetooth de baja energía (BLE, por sus siglas en inglés), *Ultra Wide Band* con altas tasas de transmisión (UWB, por sus siglas en inglés), ZigBee o Z-Wave;
- **Mediano alcance:** Wi-Fi, EnOcean (baja potencia);
- **Largo alcance, baja potencia (LPWA):** LoRa, Sigfox, Weightless, Narrowband Fidelity (NB-Fi); y
- **Largo alcance, alta potencia** (altas tasas de información): Sistema global para comunicaciones móviles (GSM), tercera y cuarta generación de tecnologías inalámbricas (3G y 4G), *Worldwide Interoperability for Microwave Access* (WIMAX), NB-IoT, etc.

Tabla 2 Características técnicas de las comunicaciones de red

Categoría	Tecnología	Descripción general	Banda de frecuencia	Tasa de transmisión	Rango de acción	Usos y aplicaciones
Corto alcance, baja potencia	RFID ⁴²	La tecnología RFID es una alternativa de identificación automática de productos u objetivos	50 KHz-14 MHz	-	De 50 cms a 25 mts	Se utiliza sobre todo para dispositivos contra el robo Los chips que tienen las mascotas también son identificadores RFID
	NFC ⁴³	Es una tecnología de transmisión de información que utiliza ondas de radio de corto alcance con la que es posible la lectura de etiquetas	13.56 MHz	424 Kbps	Hasta 10 cm	El NFC puede utilizarse para el acceso a lugares donde es precisa una identificación Adicionalmente, se ha utilizado para pagos con el teléfono móvil
	Bluetooth ⁴⁴	Es una tecnología de corto alcance inalámbrica que permite a los dispositivos electrónicos la transmisión de información y voz inalámbricamente en una distancia corta	2.4 GHz	24 Mbps	Hasta 10 mts	La tecnología permite la conexión de manera inalámbrica de dispositivos, que pueden ser auriculares, altavoces inteligentes, equipos de sonido, controles de videojuegos y relojes inteligentes
	Zigbee ⁴⁵	Es una tecnología inalámbrica más centrada en aplicaciones domésticas ⁴⁶ e industriales	2.4 GHz	250 Kbps	10 a 100 mts	Puede utilizarse para realizar control industrial, el estándar se puede adoptar para muchos usos, recientemente Philips lo adoptó para su línea de sistema de iluminación inalámbrica inteligente HUE

42 Véase para mayor información: <http://www.scielo.org.mx/pdf/poli/n40/n40a9.pdf>

43 Véase para mayor información: <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>

44 Véase para mayor información: <https://www.lifewire.com/what-is-bluetooth-2377412>

45 Véase para mayor información: <https://www.redeweb.com/articulos/software/11-redes-inalambricas-fundamentales-para-internet-de-las-cosas/>

46 Sistemas capaces de automatizar viviendas o edificaciones de cualquier tipo, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación. Este tipo de servicios pueden estar integrados por medio de redes interiores o exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas. Se llega a definir como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto cerrado.

Tabla 2 Características técnicas de las comunicaciones de red

Categoría	Tecnología	Descripción general	Banda de frecuencia	Tasa de transmisión	Rango de acción	Usos y aplicaciones
Corto alcance, baja potencia	Z-Wave ⁴⁷	Es un estándar para comunicaciones inalámbricas entre distintos dispositivos en casas y oficinas	902-928 MHz	40-100 Kbps	100 a 180 mts	Control del hogar y gestión remota (sistemas de seguridad, de iluminación, clima y, en las partes esenciales de un sistema domótico). La capacidad de Z-Wave para comandar varios dispositivos como un evento unificado (macro, escena, etc.) permite generar varias acciones en cadena. A modo de ejemplo, la apertura de una cerradura de puerta Z-Wave puede desactivar un sistema de seguridad y encender las luces, cuando los niños llegan a casa de la escuela, y enviar una notificación al PC del padre o su teléfono móvil
Mediano alcance	Wi-Fi ⁴⁸	Tecnología inalámbrica, alternativa a las tecnologías de acceso inalámbrico, tiene como estándar el IEEE 802.11 con 5 tipos diferentes de estándares	900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz. Se prevé que en el corto plazo se use la banda de 6 GHz en el nuevo estándar Wi-Fi 6	8 Mbps - 450 Mbps, se prevé que Wi-Fi 6 ofrecerá tasas más elevadas ⁴⁹	0 a 1000 mts	El Wi-Fi puede ser utilizado para el monitoreo, manejo y medición dentro de parques industriales
	EnOcean ⁵⁰	Tecnología de ultra baja potencia que utiliza convertidores de poder miniaturas, se alimenta mediante presión en interruptores o celdas fotovoltaicas por lo que no requiere de baterías	868 MHz, 902 MHz y 928 MHz	125 Kbps	30 a 300 mts	Automatización de edificios y hogares inteligentes para el control del aire acondicionado, iluminación, control de energía y seguridad
Largo alcance, baja potencia (LPWA)	LoRa (LoRaWAN) ⁵¹	Es una arquitectura de red cuyos dispositivos intercambian mensajes con un servidor central de red	868 MHz en Europa, 915 MHz en América y 433 MHz en Asia	50 Kbps	5 a 30 km	Aplicables a Industrias y ciudades inteligentes, lugares con poca cobertura móvil o redes privadas de sensores

47 Véase para mayor información: <https://www.z-wave.com/learn>

48 Véase para mayor información: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-IoT%20systems%20overview.pdf>

49 Véase para mayor información: https://www.cisco.com/c/es_mx/products/wireless/what-is-wi-fi-6.html

50 Véase para mayor información: <https://www.enocean.com/en/technology/radio-technology/>

51 Véase para mayor información: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2405959517302953?token=FEB610E63B-24B1BOCA43C021E5442E737BA738719BE30706A904D6B89FB76D26A87B079C9575B9D54868C286BB46B22D>

Tabla 2 Características técnicas de las comunicaciones de red

Categoría	Tecnología	Descripción general	Banda de frecuencia	Tasa de transmisión	Rango de acción	Usos y aplicaciones
Largo alcance, baja potencia (LPWA)	Sigfox ⁵²	Es una alternativa de amplio alcance que responde a las comunicaciones M2M con una pequeña batería y utilizan tasas de transferencias de datos pequeñas	900 MHz	10 - 1000 bps	3 a 50 km	Actualmente se utiliza para varias aplicaciones como controlar vallas publicitarias, gestionar el sistema de ventilación y calefacción de edificios, gestionar alarmas y transacciones de activos
	Weightless ⁵³	Pertenece a las tecnologías LPWAN de estándar abierto y garantiza la comunicación bidireccional entre dispositivos	138 MHz, 433 MHz, 470 MHz, 780 MHz, 868 MHz, 915 MHz, 923 MHz	0.625 - 100 Kbps	2 km	Por ser una tecnología de comunicación a distancia puede ser utilizada en mediciones inteligentes, agricultura, sensores de gas, monitoreo de paneles solares, seguimiento de activos y manufactura
	NB-Fi ⁵⁴	Es una tecnología que está diseñada para la comunicación de baja potencia, área amplia, y comunicación máquina a máquina	430 - 500 MHz y 860-925 MHz	50 - 25,600 bps	10 a 30 km	Se puede utilizar para logística, transporte, soluciones industriales IoT, energía y casas inteligentes
	EC-GSM-IoT ⁵⁵	Tecnología basada en redes GSM (2G)	Bandas GSM	<74 Kbps	Menor a 15 km	Se han conectado sensores en campos agrícolas en África que permiten determinar cuándo es el mejor tiempo para plantar diferentes cultivos
	NB-IoT ⁵⁶	Es una tecnología de acceso de radio celular basado en LTE, introducida por el Third-Generation Partnership Project (3GPP), para redes LPWAN	Se han utilizado las bandas 700-900 MHz. Sin embargo, NB-IoT está basado en los estándares 3GPP, por lo que su operación está estandarizada para operar en múltiples bandas celulares, como: 600 MHz, 700 MHz, 850 MHz, PCS y AWS	<150 Kbps	Menor a 15 km, el alcance depende directamente de la banda elegida	Aplicaciones para rastreo de vehículos (para logística o para bicicletas compartidas, por ejemplo), wearables personales (relojes, medidores de actividad física), mantenimiento y controles remotos, medición inteligente, pagos en el punto de venta y dispositivos de seguridad
	LTE-M ⁵⁷	También conocida por CAT-M1, utiliza las antenas LTE instaladas con un ancho de banda mayor y para conexiones de móvil que incluyan voz	Se han utilizado las bandas 700-900 MHz. Sin embargo, LTE-M está basado en los estándares 3GPP, por lo que su operación está estandarizada para operar en múltiples bandas celulares	200 - 400 Kbps	Depende de la potencia de la señal y la cercanía con una torre de Telecomunicaciones	Se puede utilizar para el alumbrado público inteligente, para monitorear condiciones ambientales, el consumo de energía, agua o gas natural, Control de flotas, optimización de rutas, dispositivos sanitarios conectados

52 Véase para mayor información: <https://www.redeweb.com/articulos/software/11-redes-inalambricas-fundamentales-para-internet-de-las-cosas/>

53 Véase para mayor información: <http://www.weightless.org/>

54 Véase para mayor información: http://tadviser.com/index.php/Article:Narrow_Band_Fidelity

55 Véase para mayor información: <https://www.alticelabs.com/content/WP-IoT-Cellular-Networks.pdf>

56 Véase para mayor información: <https://www.vencoel.com/introduccion-al-lpwa-nb-iot-cat-m-vs-lora-sigfox/>

57 Véase para mayor información: <https://accent-systems.com/es/blog/diferencias-nb-iot-lte-m/>

Tabla 2 Características técnicas de las comunicaciones de red

Categoría	Tecnología	Descripción general	Banda de frecuencia	Tasa de transmisión	Rango de acción	Usos y aplicaciones	
Largo alcance, alta potencia	Celular	3G ⁵⁸	Tecnología celular de tercera generación	800 MHz a 3 GHz	128 - 384 Kbps	Depende de la potencia de la señal y la cercanía con una torre de Telecomunicaciones	Se utiliza para comunicaciones M2M mediante SMS
		4G (LTE) ⁵⁹	Tecnología celular de cuarta generación	600 MHz a 4.2 GHz	86.5 - 326.5 Mbps		Además del envío de mensajes M2M, esta tecnología puede ser utilizada en mediciones, monitores de estado de salud, aplicaciones de actividad física y de conectividad a la nube
		5G ⁶⁰	Tecnología celular de quinta generación	600 MHz, 3.5 GHz y en el corto plazo desde 26 GHz hasta 51 GHz	10 Gbps		Esta tecnología tendrá menor latencia, por lo que los automóviles autónomos, realidad virtual, realidad aumentada e Internet táctil podrán ser una realidad
	WIMAX ⁶¹	Es un estándar de transmisión inalámbrica de datos, permiten conexiones de velocidades similares al ADSL o el cable modem	Se estandarizó principalmente en 2.3 GHz, 2.4 GHz, 2.5 GHz, 3.5 GHz y 5 GHz	32- 75 Mbps	Hasta 50 km	Este estándar puede ser utilizado en aplicaciones IoT donde el número de dispositivos sea bajo, ejemplo de aplicación sería los routers, acceso a Internet de última milla	
Satelital ⁶²	Se refiere a la conexión por vía satélite geoestacionarios en las bandas C, Ku y Ka para conectividad directa o backhaul, hasta la implementación de nuevas constelaciones LEO (órbita terrestre baja, por sus siglas en inglés) o HEO (órbita altamente elíptica, por sus siglas en inglés), optimizadas para el mercado IoT	C: 4-8 GHz; Ku: 12-18 GHz; Ka: 27-40 GHz	50 Mbps	Todo el mundo, dependiendo de la localización del satélite	Los satélites podrán proveer de conectividad a diversas actividades, como el monitoreo de activos, venta minorista y banca		

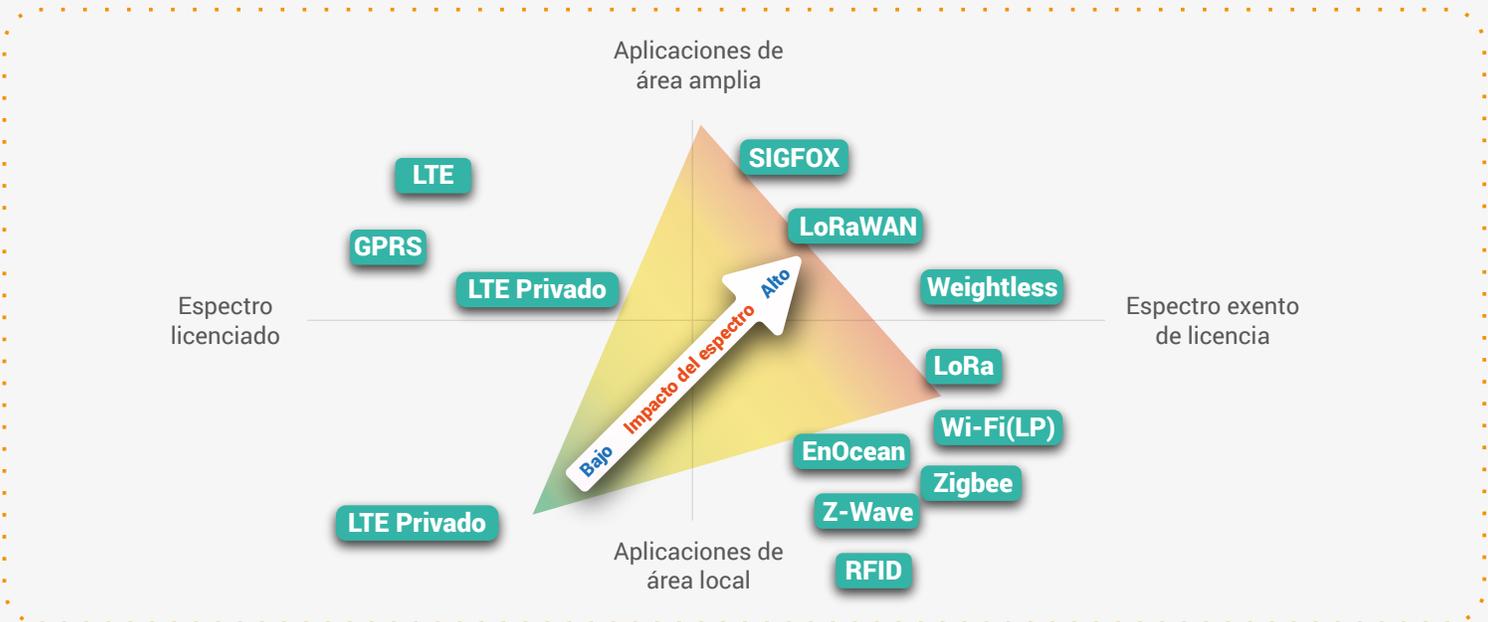
Fuente: IFT, elaboración propia.

58 Véase para mayor información: <https://trackimo.com/3g-technology-definition/>59 Véase para mayor información: <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte>60 Véase para mayor información: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-S.pdf61 Véase para mayor información: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/en/equipamiento-tecnologico/redes/349-andres-lamelas-torrijos>62 Véase para mayor información: http://www.redtauros.com/Clases/Medios_Transmision/08_Red_Transmision_Satelital.pdf

En la Tabla 2 se muestra una clasificación de algunas tecnologías de conectividad por sus características, el rango de frecuencia y la tasa de transmisión de información, sin embargo, existen otros estándares, como Wi-SUN, ANT, entre otros de nicho o de propósito especializado; adicionalmente, el desarrollo del IoT y de los nuevos estándares sigue evolucionando y cambiando, lo que implica que estas características puedan cambiar y tener más aplicaciones en IoT en un futuro.

Otros factores que influyen para elegir una tecnología específica se refieren a si se cuenta con una licencia para el uso del espectro o no, la confiabilidad, latencia, seguridad, costos, robustez, disponibilidad, si es fija o móvil o si se usará en interiores o exteriores⁶³. El riesgo asociado de elegir una tecnología de conectividad errónea y que no sea dominante implicaría que los dispositivos, aplicaciones y soluciones de nube podrían hacerse obsoletas en el corto plazo.

Figura 3 Tecnologías Inalámbricas para IoT



◀ Fuente: ITU (2019), *CoE Training on Traffic engineering and advanced wireless network planning*. Página (16). Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-/IoT%20systems%20overview.pdf>

63 | European Commission (2017), *Cross-Cutting Business Models for IoT*. PWC. Página (37). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849

Desde esta perspectiva, consultoras como McKinsey⁶⁴ consideran que la solución universal para la conectividad en IoT serían las redes celulares 5G debido a que permitirán controlar más dispositivos remotos con aplicaciones donde el desempeño de las redes de tiempo real es crítico. El *Ericsson Mobility Report 2019* prevé que en el 2022 habrá 550 millones de suscriptores móviles que utilizarán esta tecnología. Para el 73% de las empresas encuestadas en el referido reporte, los cuidados médicos remotos serían una realidad⁶⁵. Sin embargo, el despliegue de la tecnología 5G no es inmediato y podría llevar al menos 5 años⁶⁶, situación que obliga a las compañías a buscar soluciones de conectividad de corto plazo, tales como:

- (i). **Soluciones de conectividad en bandas de frecuencia clasificadas como espectro libre**, sin costo aunque susceptibles a la saturación de dispositivos conectados lo que provoca congestión y la interferencia por incompatibilidad entre diferentes tecnologías por lo que se utilizan para servicios de corto alcance. (v.gr. Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, y Z-Wave);
- (ii). **Soluciones de largo alcance y baja potencia** (LPWA, por sus siglas en inglés), su uso se ha extendido a aplicaciones que requieren poco intercambio de información o intercambio de información en momentos puntuales, sin embargo, únicamente el 20% de la población global está cubierta con este tipo de tecnología, lo que disminuye sus posibilidades de ser utilizada (v.gr. Link Labs, LoRa, Sigfox y Weightless);
- (iii). **Tecnologías compatibles con redes móviles específicas para IoT**, donde se incluye el LTE-M y la banda angosta para Internet de las Cosas (NB-IoT, por sus siglas en inglés) que funcionan como una opción adicional de LPWA. Esta última fue específicamente desarrollada para IoT con los siguientes requerimientos básicos:
 - Procedimiento para ahorrar y reutilizar la energía del núcleo de la red para aumentar la vida útil de las baterías.
 - Promover la compartición del núcleo de la red entre múltiples operadores móviles.
 - Controlar el acceso a cada Red Móvil Terrestre Pública (PLMN, por sus siglas en inglés) disponible.

64 | McKinsey (2017), *The Future of Connectivity: Enabling the Internet of Things*. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/internet-of-things/our-insights/the-future-of-connectivity-enabling-the-internet-of-things#>

65 | Para mayor información diríjase a: <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>

66 | Véase para mayor información: <https://expansion.mx/tecnologia/2019/04/10/por-que-no-va-a-llegar-el-5g-a-mexico-pronto>

- Soporte para servicio de mensajes cortos (SMS).
 - Soportar la compresión del encabezado de Protocolo de Internet (IP, por sus siglas en inglés) para servicios basados en esta tecnología.
- (iv). **Tecnología 4G LTE**, capaz de ofrecer banda ancha por encima de los 100 Mbps y cuenta con un gran rango de cobertura, cerca de los diez kilómetros⁶⁷, sin embargo, tiene el inconveniente de los altos costos en relación con otras tecnologías inalámbricas como el Wi-Fi. Esta tecnología tiene también requerimientos de energía muy altos lo que puede disminuir su adopción para IoT, donde se busca que las baterías de los dispositivos se extiendan por muchos años sin recarga.
- (v). **Conectividad satelital y de microondas**. Esta opción es utilizada por la industria de IoT si la tecnología celular o de fibra óptica no están disponibles, en virtud de que es más costosa que estas dos alternativas. Esta tecnología dispone de bandas bajas a medias, de amplio rango y de media a baja confiabilidad y viabilidad debido a la alta latencia, lo que puede hacer que esta tecnología no sea propicia para aplicaciones IoT sensibles a la latencia.

Como se verá a lo largo de este documento, las aplicaciones del IoT generan beneficios potenciales en varias actividades económicas, tales como la automatización industrial, la atención médica, la conservación de la energía, la agricultura, el transporte, la gestión urbana, entre otros⁶⁸. Desde esta perspectiva y considerando la capa de comunicación de red, las **agendas digitales y políticas públicas de algunos países comienzan a reconocer al IoT como un factor de cambio que requiere de planes de desarrollo específico para esta materia. Por ejemplo:**

- En **Tailandia**, la *National Broadcasting and Telecommunications Commission* (NBTC) establece como una prioridad de política pública el desarrollo de la infraestructura en telecomunicaciones para la adopción del 5G en 2020. Esta iniciativa fue presentada en junio de 2018 donde propone planes de asignación de un total de 360 MHz dentro de cuatro rangos de espectro con el objetivo de promover la conectividad para los servicios de IoT⁶⁹:
 - 180 MHz en la banda de 2600 MHz + 90 MHz en la banda de 1800 MHz.
 - 90 MHz en la banda de 700 MHz.

67 La cobertura es estimada por radiobase y en bandas menores a 1 GHz. Para bandas más altas, la cobertura por radiobase es menor.

68 Internet Society (2016), *Informe de la política pública: Internet de las cosas – Internet of Things (IoT)*. Disponible en: <https://www.internetsociety.org/es/policybriefs/iot>

69 Huawei (2019), *Thailand IoT Industry White Paper. IoT Technologies, Ecosystem and Application Development Guide*. Página (9). Disponible en: https://www.huawei.com/minisite/iot/pdf/thailand_iot_white_paper.pdf

• En **China**, el Ministerio de Industria e Información Tecnológica (MIIT, por sus siglas en inglés) ha emitido políticas para el desarrollo de la industria de NB-IoT y para mejorar la interconectividad entre los fabricantes (junio 2017). Como parte de su estrategia nacional, cubre los siguientes aspectos:

- Estándares: preparación de estándares para la industria, especificaciones comunes para los módulos y desarrollo de estándar de pruebas de certificación de acceso a redes.
- Redes: la construcción de 40/1.5 millones de estaciones base.
- Aplicaciones: se tiene una meta de conexiones de entre 20 a 600 millones.
- Seguridad: seguridad de la red y fragmentación del mercado.

Además, el MIIT da financiamiento a proyectos primarios de “*Made in China 2025*” para estimular la industria y el fomento de productos NB-IoT⁷⁰.

• La Unión Europea (EU, por sus siglas en inglés) ha implementado distintas políticas para la implementación de IoT⁷¹. En marzo de 2015, se creó la *Alliance for the Internet of Things Innovation* (AIOTI, por sus siglas en inglés) con el fin de crear un sistema de innovación en el ecosistema IoT con enfoque industrial. La EU trabaja con la AIOTI y los participantes del mercado de IoT para establecer un mercado competitivo de IoT y la creación de nuevos modelos de negocio.

En mayo de 2015, se adoptó la *Digital Single Market Strategy*, dicha estrategia, busca acelerar los procesos de desarrollo del Internet de las Cosas, en particular, para acelerar la interoperabilidad y evitar la fragmentación del IoT. Mientras que, en enero de 2017, se propuso la iniciativa “*European data economy*” con el fin de crear un mercado único europeo de IoT. Esta iniciativa propone una solución legal y de política en temas como el libre tránsito de información dentro de las fronteras de EU, y riesgos. Adicionalmente, están trabajando en proyectos de innovación y desarrollo para su programa *Horizon 2020*.

70 Huawei (2019), *Thailand IoT Industry White Paper. IoT Technologies, Ecosystem and Application Development Guide*. Página (10-11). Disponible en: https://www.huawei.com/minisite/iot/pdf/thailand_iot_white_paper.pdf

71 European Commission (2019), *The Internet of Things*. Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/internet-things>

- Una modalidad de estrategia diferente se planteó en el **Reino Unido** a mediados de 2015. Se trata del programa IoTUK⁷², cuyas actividades buscan impulsar el liderazgo global de ese país en IoT e incrementar la adopción de soluciones de alta calidad en la industria y el sector público. Este programa está diseñado para acelerar la capacidad del IoT y permite el emprendimiento de IoT y la colaboración con diferentes organizaciones, se enfoca principalmente en crear capacidades de IoT sobre todo en la seguridad y confianza, interoperabilidad de la información, inversión y diseño.
- En **Estados Unidos**, el Plan FAST de 5G publicado en febrero de 2019, tiene como objetivo principal actualizar la regulación para promover el despliegue de la red troncal de las redes 5G y la oportunidad digital para todos sus ciudadanos. El referido plan considera la utilidad de esta banda de radiofrecuencia para soportar un rango de aplicaciones nuevas que no es posible soportar con las versiones inalámbricas previas, tales como IoT. El Plan pretende hacer disponible espectro adicional para 5G en: **(i)** Bandas altas (banda de 28 GHz, 24 GHz, 37 GHz, 39 GHz y 47 GHz); **(ii)** Bandas medias (2.5 GHz, 3.5 GHz, 3.7-4.2 GHz); **(iii)** Bandas bajas (600 MHz, 800 MHz y 900 MHz), y **(iv)** Bandas libres (6 GHz y por encima de los 95 GHz)⁷³.
- En **México**, el 23 de octubre de 2019, el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprobó los elementos a incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024⁷⁴. En el referido documento se presentan Objetivos, Estrategias y Líneas de Acción que se espera generen un impacto favorable en las funciones que debe cumplir como ente regulador de las telecomunicaciones y radiodifusión de conformidad con lo dispuesto en la normatividad vigente. El Objetivo 1 de este marco estratégico consiste en **incrementar la disponibilidad de espectro radioeléctrico que promueva el acceso universal a los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión**, que alineado con la **Estrategia 1.2 Aumentar la disponibilidad de espectro radioeléctrico para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)**, incluye como una línea de acción establecer directrices para el desarrollo de sistemas de radiocomunicaciones de banda angosta y banda ancha compatibles con aplicaciones de Internet de las Cosas e Inteligencia artificial⁷⁵.

72 Catapult Digital (2019), *Demonstrating the benefits of the IoT for UK industry. Advancing the UK's global leadership in the Internet of things*. Disponible en: <https://www.digicatapult.org.uk/projects/iotuk/>

73 Para mayor detalle, visite la página: <https://www.fcc.gov/5G>

74 Disponible en: <http://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/es/el-ift-emite-los-elementos-incluirse-en-el-programa-nacional-de-espectro-radioelectrico-2019-2024>

75 IFT (2019), *Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba los elementos a incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024*. Páginas (25 y 26) Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/pner_2019-2024.pdf

En relación con las bandas de frecuencia clasificadas como espectro libre, el IFT actualiza y publica el “Inventario de bandas de frecuencia clasificadas como espectro libre”⁷⁶, el cual es un documento informativo en el que se listan todos los segmentos clasificados como espectro libre; en este sentido, el IFT, con base en sus facultades, define un área de oportunidad en el corto, mediano y largo plazo para la identificación de espectro radioeléctrico adicional en bandas de frecuencia que sean viables para su clasificación como espectro libre, tomando en cuenta el tipo de aplicaciones, enfoque de los desarrollos por parte de diversos organismos normalizadores y asociaciones de fabricantes, estudios de compatibilidad entre diferentes servicios que garanticen la interoperabilidad de servicios y aplicaciones tanto en bandas compartidas, como en bandas adyacentes, y en su caso, condiciones técnicas de operación que garanticen coexistencia de diversas aplicaciones y servicios.⁷⁷



3. Capa de procesamiento

En esta capa los flujos de datos se convierten en información apta para almacenar y procesar. Esta capa tiene la característica de procesar los eventos basados en las lecturas de los sensores y la capacidad de los actuadores de la capa física. Dependiendo de la arquitectura, el servicio de procesamiento (adicional a los procesos básicos de los dispositivos) puede utilizar cualquier servicio de nube o de puertas de enlace⁷⁸ de la niebla (*fog*)⁷⁹.



4. Capa de almacenamiento

Esta capa resulta de la necesidad de las redes para mover información entre la red, es en esta capa donde la acumulación de información pasa de estar en movimiento a información en reposo o almacenada. Como resultado, la información está disponible para ser utilizada por las aplicaciones, quienes tienen acceso a la información cuando sea necesario⁸⁰, regularmente se utiliza cómputo en la nube que por sus características está más alejada de los procesos internos que se están automatizando.

76 Para mayor detalle, visite la página: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasdeusolibrev.pdf>

77 IFT (2018), *Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba los elementos a incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024*. Página (17). Disponible en: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/pner_2019-2024.pdf

78 Las puertas de enlace se pueden utilizar para proporcionar una de las siguientes funciones: Seguridad de transmisión, interoperabilidad de protocolo, almacenamiento y análisis de datos y procesamiento de eventos locales.

79 La niebla se refiere a un cómputo en la nube mucho más inmediato y expedito, cercano a los procesos internos que se están automatizando. European Commission (2017), *Cross-Cutting Business Models for IoT*. PWC. Página (38). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849

80 European Commission (2017), *Cross-Cutting Business Models for IoT*. PWC. Página (39). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849



5. Capa de abstracción

Esta capa se relaciona directamente con la capa de almacenamiento, la información requiere ser escalada a niveles más agregados que requieren múltiples sistemas de almacenamiento. El propósito de la abstracción es centrarse en la prestación de datos y el almacenamiento de los mismos de una manera determinada para permitir el desarrollo de aplicaciones más simples y mejoradas en cuanto a rendimiento⁸¹.



6. Capa de servicio, aplicación, colaboración y procesamiento.

En la capa de servicio, toda la información que se necesita está disponible para procesarse, es aquí donde se interpreta la información de la capa de aplicaciones.

En la capa de aplicaciones se realizan todos los reportes, análisis y el control de información. El *software* de esta capa utiliza la información y se dedica a investigar tendencias, problemas, etc. Esta capa típicamente provee de una interfaz frontal para asegurar que los usuarios puedan interactuar y comprender la información.

Finalmente, en la capa de colaboración y procesamiento se involucran los procesos de personas y negocios; es decir, la información reunida en las capas previas es analizada con algún fin en específico.

Cuando todos estos dispositivos, infraestructura y elementos de la red cooperan uno con otro en cada una de las capas, se crea el entorno del IoT, impulsado por la información, construido por datos y servicios; y generando inteligencia que impulsa la conciencia sobre las personas y sus alrededores⁸².

81 | European Commission (2017), Cross-Cutting Business Models for IoT. PWC. Página (40). Disponible en: https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=49849

82 | *Ibidem*.

Es importante señalar que existen plataformas o *software* que conectan todas o algunas de las capas del entorno IoT. Estas plataformas facilitan la comunicación, la transmisión de datos, el manejo de dispositivos, y la funcionalidad de las aplicaciones. Una plataforma no es una aplicación en sí, aunque muchas aplicaciones pueden construirse completamente de una plataforma de IoT. Las plataformas permiten conectar máquinas, dispositivos, aplicaciones y personas a los datos y centros de control que pueden accederse y administrarse desde varios lugares, la mayoría de sus elementos se basan en la nube y funcionan con conectividad inalámbrica que puede ser establecida mediante un proveedor externo, *application programming interfaces* (APIs, por sus siglas en inglés), o una combinación de diferentes tecnologías⁸³.

En cuanto a su comercialización, por lo general, se puede adquirir como una solución que tiene aplicación en distintos ámbitos, en la siguiente sección se describirán brevemente los principales canales de comercialización para esta tecnología.



Comercialización, cadena de valor y modelos de negocio aplicados al IoT

En cuanto a la comercialización de IoT, se han identificado distintos factores que pueden ayudar en su adopción: **(i)** Reducir los costos a través de la racionalización del proceso y la gestión, y así orientar la eficiencia operativa; **(ii)** Transformar y mejorar la experiencia y el compromiso del cliente, y **(iii)** Crear soluciones de IoT que contengan nuevos productos y servicios que cambien los modelos de negocios existentes, creando así nuevas fuentes de ingresos⁸⁴.

Como hemos visto previamente, los proveedores de plataformas IoT son entidades que ofrecen servicios que pertenecen a una o más capas del entorno IoT. A su vez, existen proveedores que ofrecen soluciones IoT de extremo a extremo (v.g. todas las capas) a través de un amplio desarrollo de entornos, así como aquellos enfocados tecnológicamente o desde un punto de vista de participación vertical en la cadena de valor⁸⁵. Por ejemplo, Verizon ofrece servicios de nube, administración de aplicaciones y seguridad para distintos tipos de negocio, industrias y sectores⁸⁶.

83 River Publishers (2018), *Advancing IoT platforms interoperability*. European Platforms Initiative. Página (13-14). Disponible en: <https://iot-epi.eu/wp-content/uploads/2018/07/Advancing-IoT-Platform-Interoperability-2018-IoT-EPI.pdf>

84 Global Data (2018), *IoT Monetization, Review of IoT Technology and Enabling Platforms*, Página (9). Disponible en: <https://technology.globaldata.com/Analysis/ExportFullReportToPdf/iot-monetization-review-of-iot-technology-and-enabling-platforms---2019>

85 Beecham research (2017), *IoT Platforms-The Experience of Vendors and Adopters*, Página (16). Disponible en: http://www.iothingsrome.com/wp-content/uploads/2017/11/Romeo_digital_transformation.pdf

86 Véase para mayor información: <https://enterprise.verizon.com/solutions/global-integrated-solutions/>

Las plataformas de IoT son un componente esencial para la comercialización de soluciones IoT, en la que participan muchos actores a lo largo de la cadena de valor, desde los proveedores de dispositivos, operadores de telecomunicaciones, desarrolladores de *software*, entre otros.

Generalmente, las plataformas de IoT tienen pocos requisitos en cuanto a su funcionamiento y se centran en la creación de módulos de IoT para casos de uso específicos. Sin embargo, muchas de ellas combinan la gestión de datos y conectividad con la habilitación de aplicaciones para lograr objetivos específicos de ahorro de costos, eficiencia o generación de ingresos. En diversos grados, estas plataformas permiten a los integradores de sistemas impulsar el valor de las implementaciones de IoT al proporcionar consultoría e integración de sistemas⁸⁷.

Estas soluciones están enfocadas, principalmente, en clientes cuyo fin es monitorear bienes o servicios de manera remota y la automatización de sus activos y procesos, entre las que destacan las soluciones verticales específicas, integradores de sistemas, diseñadores de productos de *hardware* y manufacturas, desarrolladores de *software*, ciudades y autoridades, *retailers*, industrias manufactureras, compañías de energía, entre otros⁸⁸.

En este documento se han abordado las necesidades y condiciones de implementación de los dispositivos IoT, así como de la importancia de los elementos de red para su funcionamiento, y de los principales retos para generar mayor valor en esta red interconectada de dispositivos.

El mercado de IoT es atractivo para los proveedores de servicios y grandes empresas de comunicaciones por ser una fuente de generación de nuevos flujos de ingresos, de altos volúmenes de dispositivos a desplegar y, por ende, un mayor Ingreso Promedio por Usuario (ARPU, por sus siglas en inglés)⁸⁹. Además, la disponibilidad de herramientas analíticas, como el *Big Data*, agregan mayor eficiencia a las aplicaciones de IoT y atractivo analítico para marketing digital y nuevos mercados.

87 Global Data (2018), *IoT Monetization, Review of IoT Technology and Enabling Platforms*, Página (6). Disponible en: <https://technology.globaldata.com/Analysis/TableOfContents/iot-monetization-review-of-iot-technology-and-enabling-platforms---2019>

88 Beecham research (2017), *IoT Platforms-The Experience of Vendors and Adopters*, Página (11). Disponible en: http://www.iothingsrome.com/wp-content/uploads/2017/11/Romeo_digital_transformation.pdf

89 5G Americas (2016), *Internet de las Cosas en América Latina*. Página (9).

Por otro lado, los usuarios finales también representan un impulso para IoT, tanto los consumidores y empresas, que tienen acceso mediante algún medio electrónico, como los teléfonos inteligentes, adoptan nuevas aplicaciones de IoT. En este sentido, las empresas están adoptando rápidamente la tecnología IoT en sus respectivas industrias⁹⁰. A continuación, se analizarán los elementos que constituyen la cadena de valor para IoT, haciendo énfasis en la participación del sector de telecomunicaciones en el ecosistema de IoT.

Cadena de valor de las soluciones de IoT

Para identificar el papel de las telecomunicaciones en la cadena de valor de IoT, es necesario, describir las interacciones de las capas que integran la cadena de valor de las soluciones de IoT de manera general. Para ello, se describe la cadena de valor de las diferentes soluciones y como esta cadena puede ser atendida por los participantes en el mercado de telecomunicaciones.

La cadena de valor de las soluciones de IoT requiere de una serie de elementos físicos y servicios adheridos. A raíz de lo complejo y lo diverso de las soluciones que se encuentran en el mercado se propone una cadena de valor general para las soluciones de IoT⁹¹ (ver Figura 4):



◀ Fuente: Arthur D. Little (2011), *Wanted: Smart market-makers for the "Internet of Things"*. Páginas (38). Disponible en: http://www.adlittle.com/sites/default/files/prism/ADL_Smart_market-makers.pdf

90 5G Americas (2016), *Internet de las Cosas en América Latina*. Página (10 y 12).

91 Arthur D. Little (2011), *Wanted: Smart market-makers for the "Internet of Things"*. Páginas (38-42). Disponible en: http://www.adlittle.com/sites/default/files/prism/ADL_Smart_market-makers.pdf

1. Módulos inteligentes

El nombre genérico para los módulos inteligentes son módems, módems inalámbricos, *gateways*, y otros componentes que conectan al objeto inteligente a la red y hace que las cosas realicen su función. Estos módulos inteligentes contienen sensores e interfaces de comunicación con el Internet y otras redes, se han identificado a empresas como Cinterion, Sierra *Wireless*, Telit, Huawei y ZTE que se encuentran en este segmento de la cadena de valor.

En términos de valor, los módulos inteligentes representan entre el **5 al 10% del valor de la solución** y se espera que el portafolio de productos de estos jugadores evolucione de servicios relacionados a *hardware* a la administración y aplicación de plataformas dentro de la red del operador.

2. Objetos inteligentes.

Un objeto inteligente es el producto (un refrigerador, una máquina expendedora, un automóvil, etc.) que se ha diseñado para que sea capaz de conectarse con otros objetos mediante un módulo inteligente y una red. Muchos de estos objetos se están desarrollando en el sector automotriz (por la telemetría y los servicios de información-entretenimiento), empresas para el sector público (para mediciones inteligentes) o administración de instalaciones (para automatización de casas y oficinas y seguridad). Sin embargo, los fabricantes de electrodomésticos también están haciendo sus propios productos inteligentes.

En este contexto, las soluciones dependen del objeto inteligente lo que puede variar dependiendo de la naturaleza del producto. Por ejemplo, un automóvil inteligente, necesita de funcionalidades, así como de servicios, flujos de trabajo, niveles de seguridad y conectividad que difieren de una máquina expendedora inteligente.

3. Operador de Red

Los operadores de red permiten y administran la conectividad de las redes de comunicación fijas e inalámbricas con el objeto inteligente. A través de esta conectividad, es posible informar a otros integrantes de la red la condición de los objetos inteligentes. Al respecto, existen diversas tecnologías disponibles, la elección de cual utilizar dependerá de la solución IoT, por ejemplo, para la automatización del hogar se utiliza la conectividad Zigbee, Z-Wave y WLAN; mientras que los equipos móviles o fuera del hogar necesitan estar equipados con tecnologías clásicas móviles como GPRS, HSPA y LTE.

En términos de valor, los operadores de red representan entre el **15 y 20%**. En ese rubro, se espera que los operadores de red ofrezcan servicios más allá de proveer conectividad pura, por ejemplo, algunos están incursionando en plataformas de gestión de hogares, que integran conectividad para distintas soluciones como la seguridad, administración de la energía y salud.

4. Habilitador del servicio

Los habilitadores del servicio ofrecen plataformas que proveen la inteligencia a los objetos inteligentes y distribuyen la información, por ejemplo, la localización de un automóvil. También administran la multitud de socios que ofrecen aplicaciones que son compatibles con la plataforma (por ejemplo, el seguimiento de vehículos) de una manera similar a como opera una tienda de aplicaciones.

Los habilitadores del servicio, en términos de valor de la solución, representan entre un **30 y 40%** del total. Actualmente existen pocos jugadores en esta parte de la cadena, algunas compañías como Nokia, Siemens, Alcatel-Lucent e IBM están desarrollando plataformas como habilitadores.

5. Integrador del sistema

Los integradores del sistema aseguran la operación de los objetos inteligentes con las plataformas y los flujos de trabajo en dos etapas: primero, el módulo inteligente contiene la tecnología de comunicación (por ejemplo, una SIM), que tiene que estar integrada al objeto inteligente (por ejemplo, un automóvil), esta integración se logra mediante una alianza entre el fabricante del objeto inteligente y el proveedor del módulo inteligente y el operador de red.

Como segunda etapa, el objeto debe de estar integrado dentro de la plataforma y sus aplicaciones, provistas por el habilitador del servicio. Actualmente, en muchos casos la integración se basa en la nube, esto quiere decir, que las aplicaciones de plataforma elegidas deben soportar la integración a través de interfaces para la programación de aplicaciones (APIs por sus siglas en inglés), como ejemplo de grandes sistemas integradores están compañías como Ericsson e IBM. En términos de valor de la solución, esta parte de la cadena representa entre el **15 y 20%**.

6. Proveedores de servicio

Los proveedores de servicio se encargan de empaquetar las soluciones, establecen las tarifas, facturación y atención al cliente. También, ofrecen el *hardware*, la conectividad y la plataforma para proveer las soluciones de extremo a extremo para sus clientes. Usualmente se encarga de la administración del ciclo de vida y de la información del cliente. El porcentaje de participación en la cadena de valor de los proveedores del servicio es de entre **10 y 20%**, la falta de modelos atractivos de precios y de atención al cliente, tienden a bajar el consumo de esta parte de la cadena de valor.

7. Revendedor

El revendedor ofrece objetos inteligentes y servicios relacionados, por ejemplo, el manufacturero de objetos inteligentes que fabrica automóviles o electrodomésticos se comporta como revendedor, en otros casos, el operador de red o el integrador del sistema actúan como revendedor al consumidor final. Por ejemplo, Mobilkom Austria, vende dispositivos para la salud y teléfonos inteligentes.

Existe un mercado creciente para la adopción de redes privadas donde se prevé que las empresas puedan optar por contar con sus propias licencias de espectro. En este sentido, el operador podría aprovechar sus tenencias de espectro y ofrecer a las compañías servicios administrados para desplegar y operar sus redes privadas 5G.

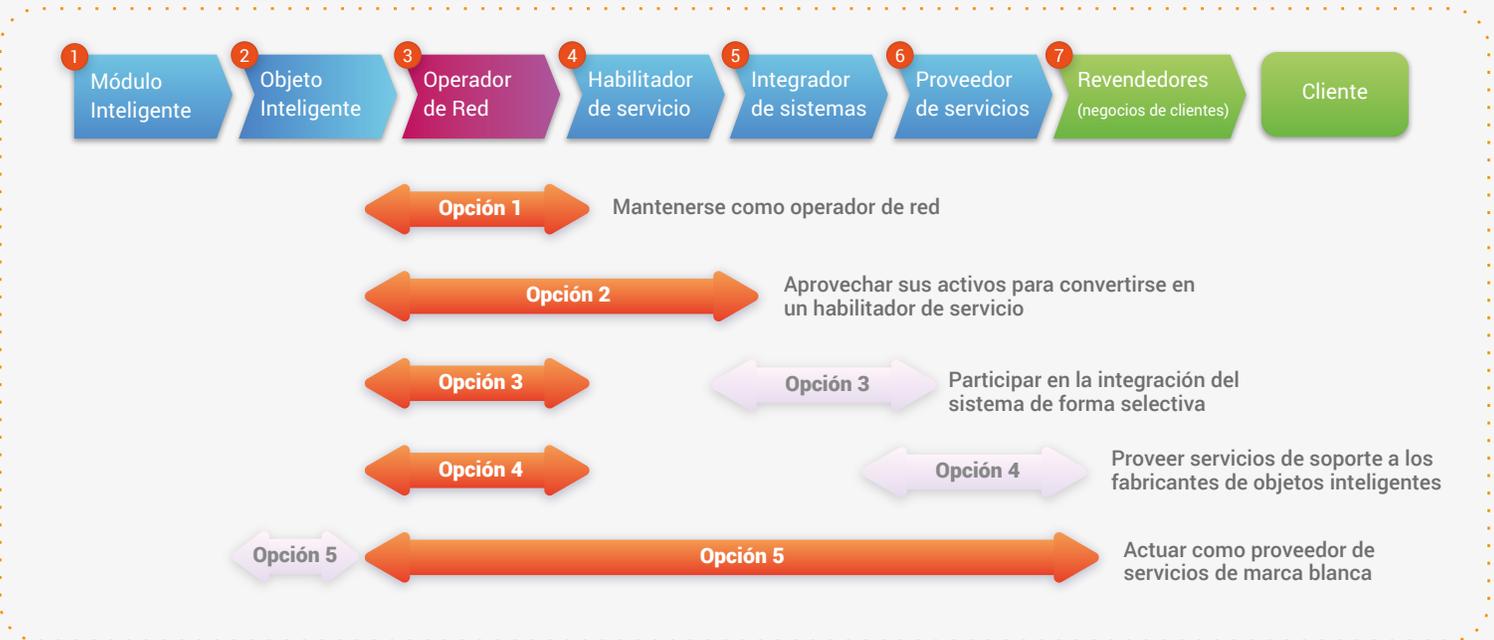


El papel de los proveedores de telecomunicaciones

La cadena de valor del IoT, está altamente integrada, en este sentido los operadores de telecomunicaciones que generan conectividad pueden expandir su posición a otras secciones de la cadena de valor, con la intención de mantener márgenes positivos y ganancias adicionales. En este sentido, se considera que los operadores de telecomunicaciones podrían atender 5 de las 7 partes de la cadena de valor del IoT (ver figura 5)⁹².

92 | Arthur D. Little (2011), *Wanted: Smart market-makers for the "Internet of Things"*. Página (42-45). Disponible en: http://www.adlittle.com/sites/default/files/prism/ADL_Smart_market-makers.pdf

Figura 5 Opciones para las telecomunicaciones en la cadena de valor para soluciones inteligentes



◀ Fuente: Arthur D. Little (2011), *Wanted: Smart market-makers for the "Internet of Things"*. Página (42). Disponible en: http://www.adlittle.com/sites/default/files/prism/ADL_Smart_market-makers.pdf

🔗 Opción 1: Mantenerse como operador de red

Actualmente, los operadores de telecomunicaciones tienen control sobre las redes, operar soluciones inteligentes se ha vuelto algo común para los operadores, inclusive las tarifas de M2M ya han sido establecidas. Los operadores de telecomunicaciones deberán replantear su actuar en el mercado de los objetos inteligentes, tanto en términos de oferta de servicio como en su estrategia de diferenciación.

🔗 Opción 2: Aprovechar sus activos para convertirse en un habilitador de servicio

Numerosos operadores de telecomunicaciones han empezado a ser habilitadores de servicio, como Verizon, Telefónica, Deutsche Telekom. Generalmente, se enfocan en el manejo de aplicaciones sobre la red con calidad en el servicio, esto es importante para aplicaciones de alta seguridad o de misión crítica, así como para monitoreo remoto de pacientes.

Estos operadores tienen una ventaja sobre los OTT y otros jugadores como Google y Microsoft porque la administración de la red es uno de los principales negocios. Además de ofrecer conectividad, los operadores pueden desarrollar sus propias aplicaciones y plataformas para flujos de trabajo y ofrecer servicios de administración en un solo lugar, simplificando el desarrollo de las soluciones inteligentes.

Además, la mayoría de los fabricantes de objetos inteligentes no están familiarizados con realizar alianzas con terceros en el desarrollo e integración de aplicaciones en una solución inteligente, por lo que los operadores de telecomunicaciones podrían participar en ello.

Opción 3: Participar en la integración del sistema de forma selectiva

Los operadores de telecomunicaciones deberán considerar la integración de un objeto inteligente dentro de una plataforma y sus aplicaciones. Esto mediante el uso de APIs que permiten a los desarrolladores un uso de lenguaje común, como Java, para construir soluciones, de manera similar a una tienda de aplicaciones.

Opción 4: Prover servicios de soporte a los fabricantes de objetos inteligentes

Muchas de las soluciones masivas para el mercado fallan por el inadecuado proceso de provisión. Por ejemplo, los automóviles conectados se enfocan en servicios de información y entretenimiento que dependen totalmente del teléfono inteligente del usuario. Adicionalmente, las empresas de otras industrias no cuentan con las capacidades para ofrecer tarifas flexibles, servicios *on-demand* y administración del ciclo de vida del consumidor. En este sentido, los operadores de telecomunicaciones pueden proporcionar soporte por su experiencia en provisión de servicio y facturación.

Opción 5: Actuar como proveedor de servicios de marca blanca

Los operadores pueden actuar como proveedores de marca blanca, ofreciendo sus soluciones a varios clientes en una industria. En otras palabras, los objetos inteligentes serán vendidos junto con la provisión de los servicios. Los operadores de telecomunicaciones también pueden crear valor mediante la oferta de módulos estandarizados y económicos para diferentes mercados verticales, lo que puede estimular el despegue de las soluciones inteligentes.

Principales aplicaciones y usos del IoT

Las soluciones de IoT crecen rápidamente generando potenciales oportunidades de negocio beneficiando principalmente a las industrias que adapten el uso del IoT a sus procesos productivos, algunas de ellas son la administración de dispositivos, provisión de energía, aplicaciones en la industria, bienes de consumo, ciudades inteligentes, sector público y seguridad. Sin embargo, las soluciones de IoT tienen un amplio rango de aplicaciones en diversos sectores desde una mayor eficiencia en la agricultura, manufactura, transporte y logística, detección de falsificaciones, monitoreo de personas, inventarios, vehículos (industria automovilística), equipo e infraestructura, hasta la mejora en el cuidado de la salud, de las ventas minoristas, el manejo de tráfico, el desarrollo de productos y la explotación de hidrocarburos⁹³.

A continuación, se describirán brevemente algunos ejemplos de soluciones más comunes, su campo de aplicación, las necesidades que se atienden y la interacción entre los dispositivos, sensores y conectividad en el uso del IoT.

1. Administración de dispositivos

Tener millones de dispositivos conectados supone un reto para la administración de los mismos. Actualmente, se cuentan con distintas opciones para la administración de ciertos tipos de activos (v.gr. inventarios, insumos, maquinaria, entre otros). Sin embargo, la administración de distintos dispositivos de IoT, requiere de mayores gastos para su monitoreo, integración y control⁹⁴.

93 ITU (2015), *GSR discussion paper: Regulation and the Internet of Things*. Página (6). Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-D/Conferences/GSR/Documents/GSR2015/Discussion_papers_and_Presentations/GSR_DiscussionPaper_IoT.pdf

94 Höller, J. et al (2014), *From Machine-to-Machine to the Internet of Things. Introduction to a New Age of Intelligence*. Página (238). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124076846/from-machine-to-machine-to-the-internet-of-things>

Mediante el monitoreo se puede incrementar la calidad en tiempo real; analizar el estado de los dispositivos, para aplicaciones tales como el mantenimiento predictivo, lo cual minimiza costos y también disminuye tiempos de entrega y fallas inesperadas. En este sentido, también se pueden realizar actualizaciones remotas para mejorar las capacidades operacionales de los dispositivos⁹⁵.

Como ejemplos de los servicios que surgen de la administración de dispositivos se encuentran: el monitoreo de consumo de energía a través de técnicas de *smart metering*, servicios basados en localización, *e-ticketing*, etc.⁹⁶

Como parte de las necesidades de gestión de dispositivos, empresas como Amazon ofrecen la capacidad de realizar un seguimiento y monitoreo para administrar las flotas de dispositivos conectados. Además, permite proteger el acceso a sus dispositivos, controlar su estado, detectar y solucionar problemas de forma remota y administrar las actualizaciones de *software* y *firmware* (este último se refiere al soporte lógico inalterable que controla los circuitos de los dispositivos).

*AWS IoT Device Management*⁹⁷ facilita el registro, la organización, la monitorización y la administración remota de dispositivos IoT a gran escala.

2. Redes inteligentes de energía eléctrica (*Smart grid*)

La integración de más dispositivos a la red eléctrica incrementará la complejidad del sistema, entre los desafíos técnicos que surgen son la necesidad de seguridad para disminuir la vulnerabilidad del sistema y proteger la información que se transmite por estas redes. El IoT puede ser empleado en el control de la red eléctrica, pero necesita una gran cantidad de sensores y transmisores inteligentes⁹⁸, particularmente en zonas de alta demanda y oferta de energía, así como en los lugares con mayor tráfico. Además, este tipo de dispositivos podrá ayudar a una gestión eléctrica con altos estándares de calidad, eficiencia y seguridad⁹⁹.

95 Para mayor información respecto a la administración de dispositivos IoT, visite por favor: <https://aws.amazon.com/es/iot-device-management/>

96 Höller, J. et al (2014), *From Machine-to-Machine to the Internet of Things. Introduction to a New Age of Intelligence*. Página (238-239). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124076846/from-machine-to-machine-to-the-internet-of-things>

97 Véase para mayor información: <https://aws.amazon.com/es/iot-device-management/>

98 River Publishers (2014), *Internet of Things – From research and innovation to market Deployment*. Página (48). Disponible en: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf

99 *Ibidem*

Compañías como Siemens han elaborado aplicaciones para capturar y analizar los datos de los dispositivos inteligentes en la red eléctrica¹⁰⁰. Grid Diagnostic Suite se basa en tecnología en la nube y tiene la cualidad de que permite obtener información acerca del estado de la red eléctrica. La aplicación provee información detallada acerca de mensajes, alarmas y parámetros específicos de la red.

3. Cuidado de la salud

La interconectividad y los sensores de equipo médico han sido parte vital del cuidado dentro de los hospitales. Sin embargo, hasta hace algunos años no era viable tener un monitoreo personal fuera del hospital. Hoy en día, la información que se obtiene mediante los sensores se puede utilizar para el cuidado de la salud mediante tratamientos personalizados.

Las revisiones físicas que se hacen, como pruebas, diagnósticos y prescripciones, podrían ser realizados mediante sistemas automatizados utilizando IoT con modelos complejos de fisiología y con más sensores. Teniendo en cuenta el envejecimiento de la población y el incremento en el número de enfermedades crónicas (v.gr. diabetes, hipertensión, cáncer), la información digital permitirá a los médicos saber acerca de sus pacientes y proveer un cuidado más personalizado y eficiente¹⁰¹.

Entre las aplicaciones más novedosas de IoT en este sector se encuentran:

- Las que mejoran la salud, por ejemplo, el sistema de monitoreo de glucosa que trabaja incrustando un sensor en el cuerpo del paciente con el fin de monitorear y alertar sobre los niveles de glucosa transmitiendo de manera inalámbrica medidas en tiempo real sobre un paciente en particular.
- Las que mejoran el rastreo, monitoreo y activos de los hospitales. Por ejemplo, en el Centro Médico Mt. Sinai en la ciudad de Nueva York, se utiliza una aplicación llamada AutoBed¹⁰² que rastrea la ocupación en 1,200 camas disponibles, basado en 15 diferentes métricas para valorar las necesidades de los pacientes individualmente (v.gr. Proximidad de la enfermera, cercanía con equipos especializados de tratamiento, entre otros).

100 Para IoT aplicado a redes eléctricas inteligentes, visitar: https://www.eejournal.com/industry_news/siemens-ex-tends-offer-for-iot-applications-in-the-energy-automation-in-the-power-network/

101 IEC (2018), *IEC role in the IoT*. Página (10). Disponible en: <https://basecamp.iec.ch/download/brochure-iec-role-in-the-iot/?wpdmdl=877&ind=1519310400529>

102 La aplicación AutoBed y Sistemas de monitoreo de la glucosa están disponibles en: https://thesai.org/Downloads/Volume9No9/Paper_56-Internet_of_Things_and_Healthcare_Analytics.pdf

4. Bienes de consumo

En la actualidad, los teléfonos inteligentes incluyen sensores y nuevas aplicaciones que permiten tener más usos. Por ejemplo, el *eHealth* o *smart city* proporcionan nuevas funcionalidades a través de dispositivos sencillos, tales como pulseras que miden la actividad física, controles para iluminación y cortinas, entretenimiento multimedia, sistemas de seguridad, etc. Además de la introducción de los centros de actividad (*hubs*) para consolidar el control de distintos dispositivos que tienen protocolos propios y permiten un control del Internet, permiten ahorros en energía y finalmente la comodidad de sus usuarios¹⁰³.

De acuerdo con las predicciones de Gartner, a nivel mundial los relojes inteligentes llegarán a 86 millones de unidades en 2020. Se prevé que la adopción de este tipo de dispositivos aumente, conforme mejore la eficiencia de los sensores y existan avances en la miniaturización de los dispositivos; así como una mayor y mejor protección de datos personales¹⁰⁴.

5 Industria y Manufactura Inteligente

La aplicación del IoT en la industria gira en torno a la automatización, monitoreo y optimización de la producción, distribución y almacenamiento. En este sentido, sus aplicaciones pueden abarcar el abastecimiento a través de las redes inteligentes (*smart grid*), la compartición de la planta de producción como un servicio o dar más agilidad y flexibilidad dentro de los sistemas de producción, distribución o almacenamiento.

La industria genera y hace uso de una gran cantidad de información, por lo que herramientas de *Big Data* y el desarrollo de *software* para el análisis del negocio, así como servicios de analítica (i.e. con fines de mantenimiento predictivo), almacenamiento en la nube, movilidad, tecnología de redes/sensores, entre otros, configuran diversas alternativas para la optimización de los procesos productivos¹⁰⁵. En la agricultura, por ejemplo, el IoT contribuye a la reducción de costos de producción y residuos mediante un mejor uso de los insumos, aumenta los rendimientos, permite el monitoreo de las condiciones ambientales y del suelo y contribuye a la reducción de posibles daños a los cultivos¹⁰⁶.

103 IEEE Standards Association (2015) *Internet of Things (IoT) Ecosystem Study*. Página (4-5).

104 Disponible en: <https://www.cnbc.com/2019/10/30/spending-on-wearables-predicted-to-hit-52-billion-next-year.html>

105 River Publishers (2014), *Internet of Things – From research and innovation to market Deployment*. Página (60-61). Disponible en: http://www.internet-of-things-research.eu/pdf/IERC_Cluster_Book_2014_Ch.3_SRIA_WEB.pdf

106 CEABAD (2020), *Modulo 4 El Impacto de la Infraestructura Digital en los ODS*. Página (6)

En 2017, el 70% de las compañías encuestadas por la Comunidad Europea aseguraron que el IoT podía reducir los costos y mejorar sus productos y servicios. Las llamadas **fábricas inteligentes** aplican el IoT en toda su cadena de producción, desde la administración de la fábrica y activos, seguridad, operaciones, logística y servicio al consumidor. Ejemplos de las aplicaciones más relevantes son¹⁰⁷:

- **Mantenimiento predictivo** a través de conectar sensores de temperatura, vibración, voltaje, entre otros, con el objeto de obtener datos de mantenimiento a efectos de estimar condiciones de la maquinaria, señales de alerta y activar el proceso de reparación correspondiente.
- **Control de producción remota** con el objeto de coleccionar y analizar una gran escala de datos necesarios para supervisar varios dispositivos del proceso de producción como: interruptores, válvulas, entre otros.
- **Logística** a través de la gestión de la flota de transporte con dispositivos IoT que proporcionan información en tiempo real.

6. Ciudades inteligentes

Las ciudades necesitan mitigar rápidamente el impacto ambiental derivado de la creciente urbanización, así como ser atractivas para los ciudadanos, no solo económicamente, sino socialmente. La innovación tecnológica, el poder de procesamiento y la capacidad de almacenamiento de las computadoras, conjuntamente con la banda ancha móvil, son una gran oportunidad para atender estos problemas de una manera más eficiente.

Por ejemplo, las TIC pueden ser aplicadas para construir un entorno que atienda los problemas de tráfico, del consumo de energía y cambios en el entorno. En este sentido, las TIC pueden producir externalidades positivas, como la creación de nuevos trabajos especializados, innovación y crecimiento económico. A su vez, se pueden crear nuevas cadenas de valor mediante la tecnología, la infraestructura y la información pública, lo que puede generar aplicaciones y mercados de información de las ciudades¹⁰⁸. Algunas soluciones dentro de las ciudades inteligentes incluyen: transporte inteligente, cuidado de la salud, educación, seguridad pública y edificios inteligentes.

107 Disponible en: https://www.cognizant.com/services-resources/Services/2017_pac_mcs_digital_industrial_iiot_report.pdf

108 Höller, J. et al (2014), *From Machine-to-Machine to the Internet of Things. Introduction to a New Age of Intelligence*. Página (282-283). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/book/9780124076846/from-machine-to-machine-to-the-internet-of-things>

7. Uso para el sector público

El IoT cuenta con el potencial para transformar la forma en la cual los organismos públicos recopilan y manejan los datos e información, al combinar las principales tendencias técnicas y de movilidad, automatización y análisis de datos¹⁰⁹. Las soluciones IoT pueden ayudar a los organismos públicos a proporcionar mejores servicios, como la seguridad, transporte eficiente, infraestructuras públicas más inteligentes, y una gestión estratégica del tráfico. A continuación, se presentan algunos ejemplos de IoT en la Administración Pública.¹¹⁰

Gestión de transporte

Las soluciones de IoT pueden ser aplicadas para la gestión del transporte público mediante una red de sensores, cámaras digitales y vehículos conectados para aumentar la capacidad del sistema, asimismo las soluciones ayudarán a mejorar la seguridad y comodidad de los viajeros, reduciendo costos y riesgos¹¹¹.

El monitoreo de la localización y predicción del tiempo de llegada de autobuses permite a los usuarios conocer en tiempo real dónde se encuentra y cuál será el tiempo de llegada estimado de los autobuses, ya sea a través de un sitio web o a través de sus teléfonos inteligentes.¹¹²

Chicago Transit Authority experimentó un incremento del 2% en el número de pasajeros, después del lanzamiento del sistema de monitorización de autobuses. El 92% de los usuarios encuestados señaló que el sistema de monitorización había incrementado su satisfacción con los servicios de transporte¹¹³.

109 Alcatel-Lucent (2019), *IoT en la Administración Pública*. Página (2). Disponible en: <https://www.al-enterprise.com/-/media/assets/internet/documents/iot-for-government-solutionbrief-es.pdf>

110 *Idem*

111 *Idem*

112 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el Sector Empresarial*. Página (148). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/>

113 Tang, L. y Thakuria, P. (2012) *Ridership effects of real-time bus information system: A case study in the City of Chicago*. Transportation Research Part C Vol. 22, Páginas 146-161. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1200022>

Mantenimiento en carreteras

Las soluciones de IoT para detección de daños en la carretera permiten localizar los tramos de carretera que cuentan con daños. Este tipo de soluciones permite programar reparaciones puntuales en carreteras a través de la detección de baches con el uso del acelerómetro y GPS¹¹⁴, esto a través de la medición de las variaciones de los sensores que reportan los daños en la carretera, al porcentaje de falsos positivos y al porcentaje de quejas sobre el estado de la carretera.

Por ejemplo, el ayuntamiento de la Ciudad de Boston realizó una asociación con *Connected Bits*, una empresa desarrolladora de aplicaciones, para proveer una aplicación que monitorea el estado de la carretera y así detectar el número de baches en la misma. La aplicación *StreetBump*, permitió identificar los problemas en la carretera y el ayuntamiento pudo enfocar esfuerzos para arreglar un total de 1,250 tapas de alcantarilla¹¹⁵.

8 Seguridad y vigilancia

El uso y desarrollo de algoritmos de *Big Data* e IoT, ha transformado la manera de ofrecer seguridad, implementando medidas y acciones preventivas, con las que se puede **predecir** dónde y cómo se podrían cometer los delitos.

Estas tecnologías, basadas en IoT, permiten una alta objetividad para determinar qué hechos han sucedido¹¹⁶ y a través de la digitalización de los datos (los algoritmos de Inteligencia Artificial y la nube) se crean bases de datos que recogen toda la información relacionada a los crímenes. Con esta información los agentes de seguridad han logrado descifrar patrones de actividad ilícita y adaptar sus acciones de vigilancia según los resultados de los datos, generando un servicio más efectivo que busca frenar el delito antes de que ocurra¹¹⁷.

114 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el Sector Empresarial*. Página (150). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/>

115 City of Boston (2019), *StreetBump*. Disponible en: <https://www.boston.gov/transportation/street-bump>

116 Telefónica (2019), *Un mundo más seguro es posible gracias a IoT*. Disponible en: <https://empresas.blogthinkbig.com/un-mundo-mas-seguro-es-posible-gracias-a-iot/>

117 *Ídem*

Entre los dispositivos empleados se encuentran cámaras, alarmas de robo, alarmas de detección de incendios y sistemas de alerta conectados con plataformas de recopilación y análisis de datos. En cuanto a las soluciones de seguridad, se incluyen soluciones simples como sistemas de monitoreo en hogar, alarmas de robo y otras mucho más complejas como cámaras de detección de movimiento o escáner de retina¹¹⁸. Por ejemplo, se están implementando soluciones para la prevención de delitos a través de IoT entre los que se encuentra la **video vigilancia integrada**, la cual permite un análisis de vídeo que recoge información como la densidad de un grupo, el número de personas y el análisis de las conductas. La instalación de estos dispositivos de video vigilancia en determinados recintos ayudará a recoger datos de los crímenes en los lugares donde se han cometido y así redirigir la información a los centros policiales, lo que significará mayor eficacia y eficiencia en el proceso de investigación¹¹⁹.

Otro ejemplo es el sistema llamado *ShotSpotter*, que incluye un sistema de sensores que permite delimitar en un rango de tres metros la localización de un disparo de un arma de fuego. Esta tecnología se basa en sensores acústicos y ópticos distribuidos geográficamente en una zona, los cuales detectan un disparo y registra a las personas involucradas para posteriormente enviar una señal a los oficiales policiales con el fin de convertir los barrios conflictivos en barrios mucho más seguros. Este tipo de tecnología ya se ha implantado en más de 90 países¹²⁰.

Una de las tecnologías más conocidas —en cuanto a IoT para la seguridad— es el botón de pánico, que consta de un botón que al pulsarlo envía una señal a la policía que informa que el usuario está en peligro. Este dispositivo está integrado en muchos hogares y facilita a los usuarios el acceso a la tecnología en situaciones de peligro. También existen compañías de telefonía móvil, dirigidas al sector de la población de altos ingresos, que han decidido integrar un botón de pánico en sus dispositivos¹²¹.

Como se puede apreciar con los ejemplos de modelos de negocio descritos previamente, el IoT es una arquitectura de múltiples interacciones y con un extenso abanico de modelos de negocio para atender las necesidades en diversos sectores económicos. Estas interacciones se analizarán con mayor detalle en el siguiente capítulo utilizando como marco teórico la economía de redes, promoviendo una interpretación ordenada y basada en la racionalidad económica que impera en el entorno del IoT.

118 Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina (2018), *IoT para el Sector Empresarial*. Página (152). Disponible en: <https://cet.la/estudios/cet-la/iot-sector-empresarial-america-latina/>

119 Telefónica (2019), *Un mundo más seguro es posible gracias a IoT*. Disponible en: <https://empresas.blogthinkbig.com/un-mundo-mas-seguro-es-posible-gracias-a-iot/>

120 *Ídem*

121 *Ídem*



CAPÍTULO 2. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL IoT

Dentro de las aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT), se observa un mercado altamente fragmentado con interacciones reiterativas entre sus múltiples capas. En este tipo de mercados es usual identificar efectos de red, donde el valor de un producto o servicio para un usuario o un desarrollador depende de cuantos usuarios lo han adquirido¹²²; es decir, el valor de un producto o servicio aumenta en la medida en que más personas o dispositivos lo están utilizando.

Por ejemplo, en el caso de las redes de telecomunicaciones, los efectos de red se presentan cuando los consumidores se unen a una red para obtener beneficios específicos como realizar y contestar llamadas, tener acceso a Internet móvil, por mencionar algunos. En este sentido, el valor de la red depende de la disponibilidad para comunicarse con otras personas y la cantidad de personas con las que se puede comunicar un usuario a través de esa red o plataforma.

Al respecto, este capítulo tiene como objetivo revisar las relaciones económicas que surgen en el ecosistema del IoT, mediante una perspectiva de economía de redes, destacando el rol de los operadores de telecomunicaciones dentro de la cadena de valor de las soluciones IoT, descritas en el capítulo previo.

122 | Shapiro, C. y Varian, R. (1999), *Information Rules: A Strategic Guide to the Network Economy*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press. Página (13). Disponible en: <http://ntst-aegean.teipir.gr/sites/default/files/forum/information-rules.pdf>

Economía de redes

Una red está compuesta por un conjunto de elementos y por un conjunto de enlaces que los conectan, estableciendo una relación de comunicación entre ellos; un aspecto fundamental de las redes es la complementariedad entre los elementos y los enlaces; es decir, los componentes de una red son complementarios uno al otro¹²³ (ver Figura 6).

En economía esta relación define una función de intercambio de productos e información entre los nodos o componentes, denominada relación de dependencia (*path dependence*)¹²⁴, cuya complejidad depende del número de elementos, de la naturaleza de estos, de la cantidad y tipos de enlaces que se establezcan entre ellos y de la magnitud de los flujos de productos, servicios o información que representan estos enlaces¹²⁵.



◀ Fuente: IFT, elaboración propia con base en González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (506). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>

123 Economides, N. (2006), *Networks, Telecommunications Economics, and Digital Convergence*. Página (7). Disponible en: http://neconomides.stern.nyu.edu/networks/Network_Economics_Slides.pdf

124 Se define como una ventaja menor o aparentemente intrascendente para alguna tecnología, producto o estándar que puede tener influencias importantes e irreversibles en la asignación final de recursos en el mercado, incluso cuando existen decisiones voluntarias y maximización individual comportamiento. Véase para mayor información Liebowitz, S. y Margolis, S. (1995). *Path Dependence, Lock-in, and History*. Página (205). Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/pdf/765077.pdf?refreqid=excelsior%3Adacc03abb599968548f7598e6dc928ae>

125 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (506). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>

El cambio tecnológico y la adopción de las TICs en los sectores productivos están cambiando la estructura tradicional de los mercados, modificando la manera en que se relacionan los diferentes actores de la cadena de valor y generando redes dinámicas con múltiples relaciones. Las redes incluyen componentes complementarios y compatibles que generan un efecto conjunto, un efecto de red directo, donde el valor de un producto o servicio para un usuario depende no sólo del producto o servicio en sí mismo sino del número de usuarios que lo utilicen¹²⁶.

El efecto de red puede presentarse de manera indirecta, cuando distintas categorías de usuarios conviven en una misma plataforma. Por ejemplo, un grupo de vendedores y un grupo de compradores. La utilidad de la red para los usuarios de un lado del mercado aumenta con el número de usuarios del otro lado.

Por lo tanto, los efectos indirectos son relevantes para mercados o plataformas de dos (o más) lados. Por ejemplo, eBay, tendrá más valor para los vendedores en la medida que atraiga más consumidores potenciales; y entre más vendedores lo utilicen, mayor valor adquiere para los consumidores que podrán encontrar más alternativas de consumo¹²⁷.

En resumen, la economía de redes prevé que ante la existencia de efectos de red positivos donde el consumo de una persona influye en la utilidad de otra, el valor de la red tiende a aumentar conforme el número de usuarios aumenta; es decir, al inicio muchos consumidores podrían no estar interesados en adquirir un bien o servicio debido al tamaño tan pequeño de la base instalada¹²⁸, que a su vez es pequeña debido al número inicial de consumidores que previamente lo han adquirido¹²⁹. En este sentido, se requiere de un tamaño mínimo de red (masa crítica) para que los usuarios se interesen en adoptar dicho bien o servicio.

- 126 Fuentelsaz, L., Maicas, J. P. y Polo, Y. (2002). *La generación de valor en la economía digital*. Revista de Economía Aplicada. V Encuentro de Economía Aplicada en Arroyo, J. y López, L. (2011), *Externalidades de Red en la Economía Digital: Una Revisión Teórica*. Página (21). Disponible en: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/PublicacionesPeriodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/361/externalidades.pdf>
- 127 French Council of Economic Analysis (2015). *The Digital Economy*. Página (3). Disponible en: <http://www.cae-eco.fr/IMG/pdf/cae-note026-en.pdf>
- 128 Economides, N. y Himmelberg, C. (1995). *Critical Mass and Network Evolution in Telecommunications*. Página (5-6).
- 129 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (517). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>

En términos de una curva de demanda la explicación es sencilla. Para tamaños inferiores a la masa crítica, los potenciales usuarios no están interesados en incorporarse a la red, e incluso los usuarios que ya se han incorporado tenderán a abandonarla¹³⁰. A medida que se incrementa el número de usuarios a la red, se alcanza una base de consumidores suficientemente grande, donde el mercado se construirá a sí mismo en forma dinámica, entrando en un círculo virtuoso, también denominado mecanismo de auto reforzamiento y retroalimentación positiva, lo que genera economías de escala y de alcance¹³¹.

Los sistemas sujetos a este tipo de retroalimentación positiva entre usuarios en la misma plataforma suelen seguir una evolución temporal en forma *sigmoideal* o de “S”¹³². En la fase inicial de lanzamiento se observa un crecimiento lento que permanecerá hasta que se acumule una masa crítica de usuarios. En esta fase, las estrategias de *marketing*, el precio y la posición de la empresa pueden generar expectativas futuras de éxito que ayuden a alcanzar la masa crítica. Una vez alcanzada la masa crítica, inicia la fase de despegue acompañada de la retroalimentación positiva, generando un círculo virtuoso que se traduce en un crecimiento acelerado. Finalmente, en la fase de saturación, el crecimiento disminuye debido a que aquellos usuarios que se van incorporando dejan de aportar valor a la red debido a la saturación de la misma (ver Figura 7).



◀ Fuente: Shapiro, C. y Varian, H. (1999), *Information Rules*. Página (178).
 Disponible en: <http://ntst-aegean.teipir.gr/sites/default/files/forum/information-rules.pdf>

- 130 Arroyo, J. y López, L. (2011), *Externalidades de Red en la Economía Digital: Una Revisión Teórica*. Página (25). Disponible en: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaindustrial/361/externalidades.pdf>
- 131 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (513 y 514). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>
- 132 Shapiro, C. y Varian, H. (1999), *Information Rules*. Página (175-176). Disponible en: <http://ntst-aegean.teipir.gr/sites/default/files/forum/information-rules.pdf>

La dinámica de este círculo virtuoso genera beneficios para los usuarios porque aumentan el valor y utilidad de un servicio o producto; y para los prestadores de servicios que pueden generar mayores ingresos al tener más usuarios. Así, conforme crece una red, puede aumentar su rentabilidad¹³³. El efecto de red, puede llevar a que se produzca la adopción de una tecnología particular, fenómeno conocido como *winner takes all*¹³⁴. Sin embargo, esto no significa que no exista competencia, por el contrario, se asume que la competencia existirá hasta que una compañía logre establecer su tecnología como dominante¹³⁵.

Estructura de la economía de redes

El fenómeno de la retroalimentación positiva y el dinamismo de mercados es una característica fundamental de los bienes de red en economía. Este fenómeno no es nuevo, pues ha estado presente en los conceptos clásicos de economía de escala en la producción industrial donde una vez el producto tiene cierta aceptación se amplía la producción, bajan los costos fijos promedio y se amortiza este capital, los cuales se transfieren al mercado en bajos precios unitarios del producto, lo que le permite a la empresa la expansión de su capacidad productiva a largo plazo¹³⁶.

Los modelos de negocios lineales han sido remplazados por modelos de múltiples lados que dan servicio a los usuarios en dos o más lados del mercado. En este contexto, es típico que crezcan las plataformas en donde múltiples compañías operan en conjunto debido al fácil acceso, variedad y precio de los productos complementarios lo que induce a los proveedores de productos complementarios a alinearse con la red de mayor tamaño ya que sus ventas serán mayores. Sin embargo, a medida que aumenta el número de proveedores en la misma red, aumenta la competencia entre ellos y se reduce su participación de mercado, estos dos efectos de sentido contrario influyen decisivamente en el proceso de estandarización, de modo que si domina el efecto de red todas las firmas se decantarán por la misma tecnología creándose un estándar de facto¹³⁷.

133 Comisión Federal de Competencia Económica (2018), *Repensar la competencia en la Economía*. Página (18). Disponible en: https://www.cofece.mx/wp-content/uploads/2018/03/RepensarlaCompetenciaenlaEconomiaDigital_01022018.pdf

134 McGee, J. y Sammut-Bonnici, t. (2002). *Network Industries in the New Economy*. Página (14). Disponible en: https://mpr.ub.uni-muenchen.de/50623/1/MPRA_paper_50623.pdf

135 Economides, N. (2001), *The Microsoft Antitrust Case*. Página (9). Disponible en: <http://w4.stern.nyu.edu/economics/docs/workingpapers/2000/00-09economides.revised.pdf>

136 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (515).

137 Arroyo, J. y López, L. (2011), *Externalidades de Red en la Economía Digital: Una Revisión Teórica*. Página (28). Disponible en: <https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/361/externalidades.pdf>

La existencia de mercados de productos diferenciados, pero que por su naturaleza se complementan y se relacionan para formar bienes compuestos, da origen a intermediarios que integran esos bienes o servicios en los llamados paquetes o plataformas. En las redes donde los productos complementarios y los sustitutos son apropiados por diferentes productores, la compatibilidad, la interconexión, la interoperabilidad y la coordinación de la calidad del producto y los servicios juegan un papel relevante¹³⁸.

En este sentido, los mercados de dos o más lados permiten la interacción de dos o más grupos distintos de usuarios, cuyas demandas están conectadas por plataformas que internalizan los efectos de red indirectos fijando las condiciones de acceso y el volumen de las transacciones en cada uno de los lados del mercado. Por ejemplo, en el mercado de los móviles, la plataforma es el sistema operativo debido a que habilita la interacción entre el comprador (usuario final) y el vendedor (dispositivo)¹³⁹ (ver figura 8).

Figura 8 Interacción entre los participantes de una plataforma.



◀ Fuente: IFT, elaboración propia.

138 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (509). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>

139 Rochet, J. y Tirole, J. (2004), *Two-Sided Markets: An Overview*. Página (5).

Una condición esencial para la existencia de estos mercados es que la negociación entre ambos lados de una plataforma es imposible o muy costosa y, por consiguiente, no es posible incidir en la asignación de precios¹⁴⁰. Las plataformas de videojuegos y las aplicaciones móviles son ejemplos de mercados de múltiples lados que han sido exitosamente implementados para crear innovación y nuevos mercados. En particular, Campbell-Kelly *et. al.* (2015) presenta un análisis comprensivo de la evolución de la industria de los teléfonos inteligentes desde la perspectiva de la teoría de las plataformas de múltiples lados. Esencialmente, utiliza como principio de análisis las características definitorias determinadas por Evans (2003)¹⁴¹ para considerar la existencia de una plataforma de múltiples lados:

- 
Existen dos o más grupos de consumidores distintos (*i.e.* hombres y mujeres, desarrolladores de *software* y usuarios del mismo; tarjetas de crédito, puntos de venta y usuarios de las tarjetas), regularmente los miembros de un grupo consumen productos diferentes que los miembros de otro grupo y está asociado con la segunda condición.
- 
Existen externalidades asociadas con los consumidores de dos grupos que se conectan o coordinan de alguna manera. Un tarjetahabiente se ve beneficiado si su tarjeta es aceptada en más establecimientos o puntos de venta, un establecimiento se beneficia si más consumidores utilizan la tarjeta que acepta. Un ejemplo de externalidad indirecta se encuentra en que los desarrolladores de videojuegos valoran más una consola de videojuegos si hay más usuarios que la utilizan y los usuarios valoran más esa consola de videojuegos si tiene más juegos, y
- 
Un intermediario es requerido para internalizar las externalidades que fluyen de un lado de la plataforma a otro. Si los miembros de dos grupos distintos pudieran realizar transacciones directamente, ellos podrían internalizar las externalidades que se señalaron en la condición previa. Información y los costos de transacción hacen difícil que diferentes grupos de consumidores internalicen las externalidades que tienen, particularmente si derivan de efectos de red indirectos. Por ejemplo, los hombres que frecuentan los bares de solteros y pagan a las mujeres por considerarlas prospectos románticos sería el caso, pero esto no pasa en realidad, el bar actúa como una plataforma al implementar una promoción de *ladies night* donde se subsidia la cuota de ingreso de las mujeres generando masa crítica y aumentando el valor de la plataforma para los hombres que sí deben pagar su entrada.

140 Los usuarios finales no pueden alcanzar una asignación eficiente a través de la negociación y la elección en la estructura de precios de la plataforma no es neutral. Véase para mayor información Rochet, J. y Tirole, J. (2004), *Two-Sided Markets: An Overview*. Página (14).

141 Evans, D. (2003). *The antitrust economics of multi-sided platform markets*. Yale Journal of Regulation, 20(2), 325–381. Disponible en: <https://digitalcommons.law.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1144&context=yjreg>

Para Evans (2003), los intermediarios (plataformas) pueden no ser negocios en un sentido tradicional. La existencia de externalidades indirectas provee de oportunidades rentables para que una empresa establezca una plataforma que empate múltiples grupos de consumidores, lo que requiere que esos empresarios encuentren estrategias de precios, productos e inversión para balancear el interés de todos los mercados laterales y crear valor para ellos.

Por ejemplo, los sistemas operativos móviles, como iOS y Android, son plataformas de múltiples lados que claramente cumplen con las tres condiciones previamente descritas. El sistema operativo iOS obtuvo su valor de marca y poder de mercado de su reputación para tener las aplicaciones más innovadoras, partiendo del iPhone como la plataforma basada en *hardware* a través de la cual interactúan dos mercados distintos: usuarios y desarrolladores de aplicaciones¹⁴².



Economías de red en telecomunicaciones y en IoT

Las industrias de red son clave para la economía, entre ellas se incluyen industrias que se pueden analizar desde una perspectiva de redes como las telecomunicaciones, computadoras, radiodifusión, televisión por cable, aerolíneas, trenes, electricidad, carreteras y servicios de mensajería. En el sector financiero, las redes incluyen los intercambios financieros de bonos, derivados, *equities*, tarjetas de crédito y redes de cajeros automáticos¹⁴³. Por otra parte, en algunas industrias de red existen redes virtuales, compuestas de una variedad de bienes compatibles que comparten plataformas en común, por ejemplo, los fabricantes de *hardware* y *software*, que generalmente tienen componentes complementarios¹⁴⁴.

- 142 Campbell-Kelly, M., García-Swartz, D., Lam, R. y Yang, Y. (2015), *Economic and business perspectives on smartphones as multi-sided platforms*. Telecommunications Policy. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.1016/j.telpol.2014.11.001>
- 143 Economides, N. (2006), *Networks, Telecommunications Economics, and Digital Convergence*. Página (5). Disponible en: http://neconomides.stern.nyu.edu/networks/Network_Economics_Slides.pdf
- 144 Economides, N. (2006), *Networks, Telecommunications Economics, and Digital Convergence*. Página (6). Disponible en: http://neconomides.stern.nyu.edu/networks/Network_Economics_Slides.pdf

Cualquier industria que se estructure como una red está sujeta a tener algún tipo de efecto de red (positivo o negativo). En el caso de las redes de telecomunicaciones, los servicios demandados por los consumidores están conformados por una variedad de componentes complementarios, por lo que se denominan bienes compuestos, con los cuales los consumidores se identifican en forma conjunta y no individualmente¹⁴⁵. En este sentido, en el mercado de telecomunicaciones interactúan dos grupos de empresas, unos que dan el servicio de red y otros que dan servicios minoristas. En los servicios de red, se encuentran empresas que dan los servicios de voz y datos de un consumidor a otro y de los consumidores a los puntos de interconexión de otras redes. En los minoristas, se encuentran negocios que tratan con los clientes: ventas, retención de clientes, facturación, servicios al cliente, etc.¹⁴⁶. En este mercado, los efectos de red se presentan cuando los consumidores se unen a una red para comunicarse con otras personas.

En la industria de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), existen diversos componentes que se estructuran como elementos de red (*hardware*, *software* de sistemas operativos, *software* de aplicaciones, administradores de bases de datos, conexiones de redes LAN y WAN, etc.), generando ventajas en la compartición de recursos, el intercambio de información y la homogeneización de las aplicaciones respecto a otro tipo de organización.

La complementariedad, en este sentido, se establece a través de estándares técnicos adoptados por la industria, garantizando en ocasiones la interoperabilidad de los diversos sensores y dispositivos que conforman el ecosistema, generando externalidades positivas para los agentes del mercado, en la producción, comercialización, distribución y consumo de los bienes finales¹⁴⁷.

145 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (508). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>

146 Frontier economics (2005), *Network externalities in telecommunications*. Theory and application. Página (5). Disponible en: https://www.itu.int/ITU-D/finance/work-cost-tariffs/events/tariff-seminars/south-africa-05/presentation-mark_william-en.pdf

147 González, R. (2007), *Economía de redes y de la información: un enfoque conceptual parte I*. Ciencia y Sociedad, vol. XXXII, núm. 4. Página (510). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87032402>

Para el caso de IoT, se amplía el alcance de la tecnología de la información y las comunicaciones, ofreciendo oportunidades en una amplia gama de dominios. En este sentido, *se considera que el IoT es una arquitectura y no una tecnología*, lo que implica que el IoT conecta tecnologías existentes en una forma específica para generar un valor común para todos los tipos de consumidores que están alrededor de su arquitectura. El desarrollo de plataformas horizontales de IoT ha permitido que las cadenas de valor verticales evolucionen hacia una red de valor que comprenda múltiples partes interesadas en este ecosistema¹⁴⁸; este valor común se logra a través de herramientas como sensores, redes, estándares, cómputo en la nube, análisis de datos y consiste en: lectura de altos volúmenes de información, procesamiento, análisis, diagnóstico y acciones específicas en función de las necesidades de los consumidores.

Los grupos de consumidores identificados para esta arquitectura son:

- (i). **Los usuarios que requieren de soluciones IoT** (v.gr. Edificios, Infraestructura Civil, Monitoreo del Medio Ambiente, Equipamiento para procesos productivos y de servicios, Agricultura y actividades agropecuarias, Gestión de recursos naturales, Gestión de activos e inventarios y Personas; incluyendo servicios de salud o accesorios inteligentes como relojes o bocinas).
- (ii). **Los proveedores de sensores, dispositivos o actuadores** que forman parte del servicio requerido por el primer grupo. Por ejemplo, los proveedores de sensores que miden información en tiempo real sobre rotaciones, temperatura y vibración de maquinaria que permitan realizar modelos predictivos de posibles fallas.
- (iii). **Los proveedores de conectividad** o servicios de telecomunicaciones que por sus características podrían considerarse como consumidores de la plataforma en la medida en que entre más usuarios de soluciones de IoT existan, más relevancia les darán a las plataformas de IoT en función del volumen de datos que deberán atender, lo que impulsará su incorporación a la arquitectura de IoT.

148 | Schladofsky, W. et al (2016), *Business Models for Interoperable IoT Ecosystems*, en *Interoperability and Open-Source Solutions for the Internet of Things*. Página (104). Disponible en: http://www.arne-broering.de/IoT-WS-Paper_BIG_IoT_Business_Models_v0.7.pdf

- (iv). **Desarrolladores de aplicaciones** que almacenan, procesan, analizan e interpretan los grandes volúmenes de datos que son transmitidos a través de los proveedores de conectividad. Lo que permite generar diagnósticos predictivos y de inteligencia artificial para generar valor a los usuarios que requieren soluciones IoT.

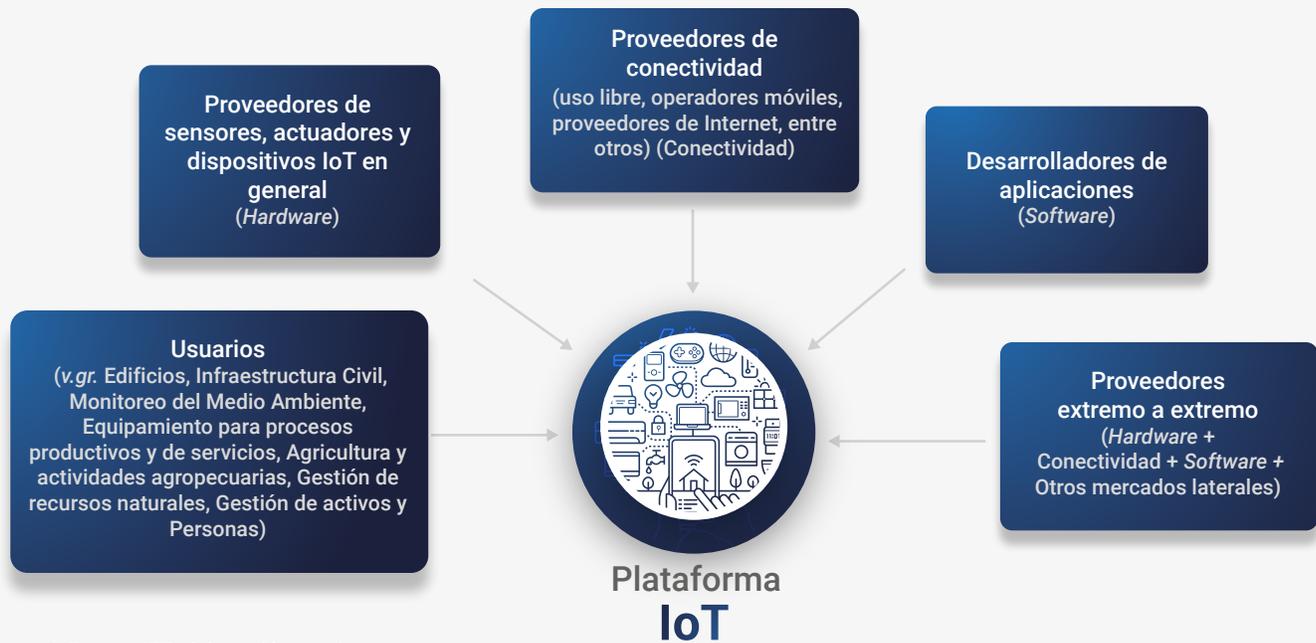
La plataforma de IoT permite la interacción de todos estos mercados laterales. Así, el número de servicios de IoT (masa crítica), la compatibilidad y complementariedad se consideran efectos indirectos de red¹⁴⁹.

Por ejemplo, un mayor número de usuarios (masa crítica) que requieren soluciones integrales de IoT implica un mayor valor de la plataforma para los proveedores de sensores; mayores sensores también generan un efecto positivo en el consumo de datos y favorece a los proveedores de conectividad; en tanto que, si los proveedores de conectividad despliegan más redes, mejoran su velocidad y latencia, que aumentará la valoración de los desarrolladores respecto a la plataforma de IoT, sin descartar que estos desarrolladores ya valoran más al intermediario debido a la existencia de más usuarios de soluciones de IoT. Es decir, entre más personas adopten el *software* y *hardware*, participen en actividades de red, y adopten un estándar específico, el valor de la red se incrementará y la percepción de masa crítica se reforzará¹⁵⁰. En este sentido, *ThingWorx*, la plataforma de IoT industrial creada para las soluciones IoT integrales tiene tiendas de aplicaciones dedicadas. Mientras que otros permiten que las aplicaciones se compartan públicamente (por ejemplo, *IFTTT*)¹⁵¹.

- 149 Hsu, C. y Chuan-Chuan, J. (2016), *An empirical examination of consumer adoption of Internet of Things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives*. Página (519). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563216302990>
- 150 Hsu, C. y Chuan-Chuan, J. (2016), *An empirical examination of consumer adoption of Internet of Things services: Network externalities and concern for information privacy perspectives*. Página (518). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563216302990>
- 151 Mineraud, J., Mazhelis, O., Su, X. y Tarkoma, S. (2016), *A gap analysis of Internet-of-Things platforms*, *Comput. Commun.*, vol. 89-90. Página (8). Disponible en: <https://arxiv.org/pdf/1502.01181.pdf>

De forma esquemática, la plataforma de múltiples lados para IoT podría simplificarse como se ilustra en la Figura 9.

Figura 9 Conceptualización del mercado de múltiples lados para IoT



◀ Fuente: IFT, elaboración propia.

En resumen, el desarrollo del IoT equivale a crear un ecosistema de *hardware* (una arquitectura) que captura datos de forma tal que pone a los desarrollares y consumidores juntos mediante una plataforma común permitiendo que las aplicaciones de IoT compartan una parte sustancial de sus funcionalidades principales, permitiendo a los desarrolladores de aplicaciones de IoT concentrarse en los aspectos que diferencian su aplicación y evitar redundancias innecesarias y duplicación del procesamiento de transformación¹⁵².

152 | Berkers, F. et al (2013), *Constructing a multi-sided business model for a smart horizontal IoT service platform*, 17th Int. Conf. Intell. Next Gener. Networks, ICIN. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6670903>

Como se ha señalado previamente, este modelo de negocio no es del todo novedoso, otras compañías de la era digital producen *hardware* que se pueden convertir en un estándar y actuar como plataforma, como se ilustró previamente con los teléfonos inteligentes como plataforma donde interactuarán usuarios y desarrolladores.

Guijarro *et. al.* (2019) muestran que un creciente conjunto de dispositivos o sensores, servicios de conectividad, de cómputo en la nube, de análisis de datos y aplicaciones que provienen de una comunidad de IoT se consideran los factores que determinarán la demanda de esta industria. A fin de hacer esto posible, en lugar de crear aplicaciones alrededor de dispositivos específicos (*i.e.* una aplicación utilizando sensores, una aplicación móvil para desbloquear una puerta, entre otros) los datos de todos los sensores pueden obtenerse en una plataforma central, una arquitectura que se enfoca en ofrecer datos a todos los mercados laterales y proveer soporte para las aplicaciones que deriven de los datos¹⁵³. En este sentido, cuando los usuarios generan información, cada usuario recibe un beneficio del servicio; estas interdependencias entre los usuarios crearán un efecto de masa que resultará en una ventaja en el servicio, atrayendo un gran número de usuarios¹⁵⁴.

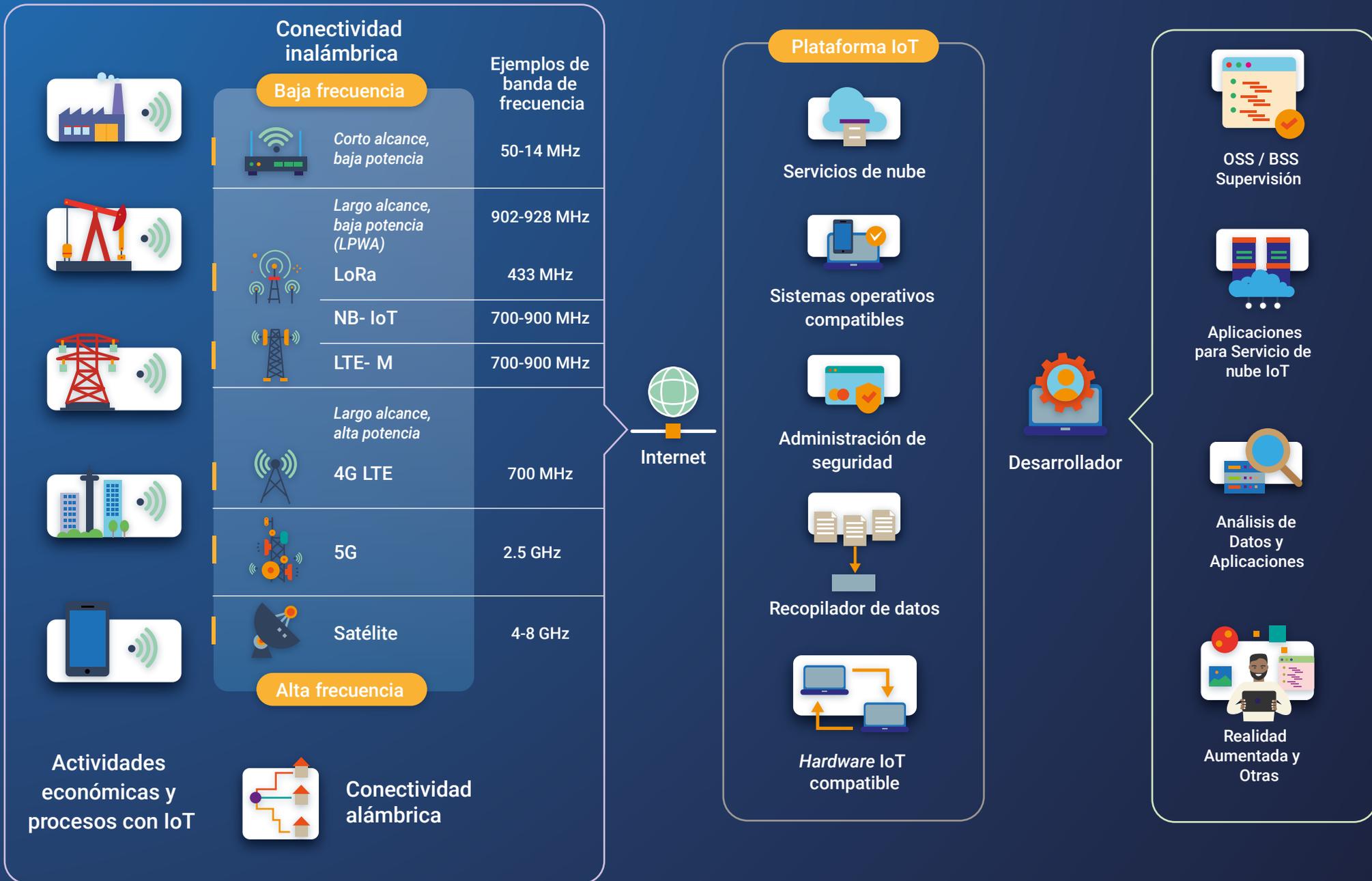
Una vez planteado el modelo de negocio e identificado los mercados laterales básicos de la multiplataforma que integra el IoT a partir de la definición de Evans (2003), habría que reconocer que podrían existir otros mercados laterales asociados (*i.e.* publicidad y productores de chips), los cuales no se consideran por dos razones: (i) simplicidad en el modelo teórico que será utilizado en el análisis empírico del siguiente capítulo, y (ii) disponibilidad de información para los otros mercados y sus interacciones.

153 | Guijarro, L., Vidal, J., Pla, V. y Naldi, M. (2019), *Economic Analysis of a Multi-Sided Platform for Sensor-Based Services in the Internet of Things*. NCBI Resources. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6358783/>

154 | Miitomo, H. (2017), *Data Network Effects: Implications for Data Business*. Página (5). Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/zbw/itse17/169484.html>

En la Figura 10 se ilustra con mayor detalle las interacciones entre los diferentes mercados laterales identificados previamente. Como se puede ver, los usuarios que requieren cada vez un mayor número de soluciones IoT (v.gr. Edificios, Infraestructura Civil, Monitoreo del Medio Ambiente, Equipamiento para procesos productivos y de servicios, Agricultura y actividades agropecuarias, Gestión de recursos naturales, Gestión de activos e inventarios y Personas; incluyendo servicios de salud o accesorios inteligentes como relojes o bocinas) pueden acceder a servicios integrados de IoT o a servicios separados donde los mercados laterales interactúan:

1. **Los usuarios** adquieren y requieren de la instalación de **sensores, dispositivos y actuadores** disponibles en el mercado a efectos de que los datos emitidos sean transmitidos a la plataforma IoT;
2. **Los sensores, dispositivos y actuadores** requerirán de la **conectividad** para ingresar a los servicios y soluciones integradas de IoT a través de las tecnologías disponibles en baja y alta frecuencia;
3. **Los desarrolladores** utilizarán los servicios integrados de IoT para ingresar a los datos y desarrollar aplicaciones, análisis predictivos, supervisión, optimización de activos, realidad aumentada, administración de costos, administración y control, etc.



Desde esta perspectiva, las plataformas IoT regularmente están diseñadas para gestionar grandes y variados volúmenes de información a alta velocidad, con el objetivo de lograr una interacción oportuna con todos los usuarios identificados. Para lograr su cometido, las plataformas de IoT incluyen servicios como: **(i)** conexión de dispositivos a la nube; **(ii)** sistema operativo compatible con IoT para microcontroladores; **(iii)** computación local, mensajería y sincronización de dispositivos; **(iv)** análisis para dispositivos compatibles con IoT; **(v)** administración de la seguridad para dispositivos compatibles con IoT; **(vi)** recopilador e intérprete de datos de IoT; y **(vii)** catálogos organizados de *hardware* IoT compatible con los sistemas operativos.

Debido a la naturaleza altamente fragmentada y compleja de la industria de IoT, existen múltiples plataformas que compiten por el liderazgo en el mercado, tales como: Google, Amazon, IBM, Microsoft y SAP, las cuales intentan convertirse en la plataforma estándar a través de sus ofertas. En este sentido, los protocolos de conexión y lenguajes de *software* tampoco están estandarizados, esto debido a que la industria se encuentra en una etapa de formación y no se identifica a alguna plataforma única de IoT para desempeñar el papel de núcleo del ecosistema, ni un conjunto único de protocolos e interfaces estándar¹⁵⁵.

Desde esta perspectiva, la siguiente sección busca determinar cuáles son los patrones de comercialización de IoT más comunes a nivel mundial y las diferentes combinaciones de servicios que las plataformas de IoT están ofreciendo. Asimismo, se busca conocer patrones respecto a la conectividad ofrecida y el tipo de proyectos de IoT que son más comunes a nivel mundial. Se parte, en este sentido, de un análisis de demanda de proyectos IoT a nivel mundial y, posteriormente, a un análisis exploratorio sobre la oferta de los mismos.

Desde un punto de vista comercial, el IoT puede ser adoptado en un gran número de industrias, como se ha señalado en el primer capítulo, es por ello importante hacer una revisión de las cadenas de valor que están relacionadas con los negocios de IoT; en la siguiente sección se analizarán brevemente las cadenas correspondientes a las soluciones de IoT y el papel de los operadores de telecomunicaciones.

155 | Mazhelis, O., Luoma, E., y Warma, H. (2012), *Defining an Internet-of-Things Ecosystem*. En *Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking*, vol. 7469, no. 1. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32686-8_1



CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS EXPLORATORIO DE LA COMERCIALIZACIÓN DE IoT

El propósito de este capítulo es utilizar la información pública disponible para identificar dónde se ubican los principales proyectos de IoT a nivel mundial y qué características tienen en términos del:

- (i). Número de dispositivos conectados (escala de demanda de sensores a nivel mundial);
- (ii). Tipo de oferentes de los servicios de IoT (tipo de plataformas);
- (iii). Tipo de conectividad utilizada por número de sensores, dispositivos o actuadores conectados (tipo de tecnologías);
- (iv). Actividades productivas o de servicio en las que se implementan comúnmente los proyectos IoT;
- (v). La relación que tienen las actividades de los clientes de los servicios IoT a nivel global y el tipo de tecnología de conectividad elegida, y
- (vi). Desarrollos más comunes.

Para aprovechar adecuadamente la información disponible e intentar responder a estas preguntas se utilizan esencialmente las siguientes bases de datos:

- La primera es proporcionada por @Global Data (2019) —*IoT Deployment Database*¹⁵⁶—. Se trata de una base de datos con información estructurada de 2,780 proyectos de IoT a nivel mundial, con 10 variables disponibles: dominio, identificador, escala o tamaño (medido por número de dispositivos conectados), nombre del proyecto desplegado, oferentes de los servicios IoT, caso de uso, tipo de conectividad principal, descripción del proyecto, latitud y longitud.
- La segunda base de datos fue construida por la CGPE a partir de la información disponible en Internet respecto a 530 proveedores de servicios IoT a nivel mundial. A partir de la técnica de *web scraping* que se detalla a continuación, fue posible obtener información sobre la dirección física, negocios, nombre, página web y servicios ofrecidos.

Para la elaboración de esta base de datos, se utilizó la técnica de *web scraping*, una solución tecnológica para extraer información de sitios web de manera rápida, eficiente y automatizada, ofreciendo información estructurada para facilitar su análisis exploratorio y la búsqueda de patrones con técnicas de ciencia de datos¹⁵⁷.



Análisis exploratorio de la comercialización de servicios de conectividad para IoT

El objeto de estudio en esta sección es el de identificar, agrupar y mapear los proyectos de IoT implementados a nivel internacional. A partir de la información disponible se realizó un análisis exploratorio de datos a través de medidas de tendencia central, de dispersión y visualizaciones estadísticas, a efectos de identificar patrones relativos a la comercialización de servicios integrales de IoT, que, como se vio previamente, consisten en servicios de almacenamiento (*v.gr.* nube o neblina), sistemas operativos compatibles, administración de la seguridad de los dispositivos, recopilador de datos, análisis de compatibilidad del *hardware*, provisión de conectividad, desarrollo de aplicaciones, *data analytics*, entre otros.

156 Disponible en: <https://technology.globaldata.com/Analytics/CompetitorTrackers/IoTDeploymentTrackingDatabase>

157 Castrillo-Fernández, O. (2015). *Web Scraping: Applications and Tools*. European Public Sector Information Platform. Topic Report No. 2015/10. Página (6).

Con el objetivo de dimensionar los requerimientos de conectividad para IoT a nivel mundial y, particularmente en México, este análisis exploratorio se divide en dos secciones. La primera sección presenta los resultados del análisis exploratorio de datos en relación con la distribución de los proyectos de IoT registrados hasta el cierre de 2019 en aproximadamente el 53% de los países alrededor del mundo¹⁵⁸.

La segunda sección presenta los resultados que se obtuvieron del procedimiento de *web scraping*, en el cual se obtuvo información de 530 empresas que ofrecen servicios de plataforma de IoT en conectividad, desarrollo, *hardware* (sensores, dispositivos y/o actuadores) o extremo a extremo (*end-to-end*; servicios integrales que abarcan toda la cadena de valor descrita previamente).



Análisis exploratorio de datos de los proyectos de IoT

De acuerdo con la información disponible¹⁵⁹, durante el cuarto trimestre de 2019 se documentaron 2,780 proyectos de IoT a nivel mundial. En promedio, el número de proyectos IoT por país es de 27. No obstante, la dispersión es considerablemente alta si se toma en cuenta que la desviación estándar es de 104 proyectos de IoT por país. Adicionalmente, se identifica que la distribución de estos proyectos a nivel mundial abarca el rango de 1 proyecto como mínimo por país a 959 como cota máxima de proyectos por país.

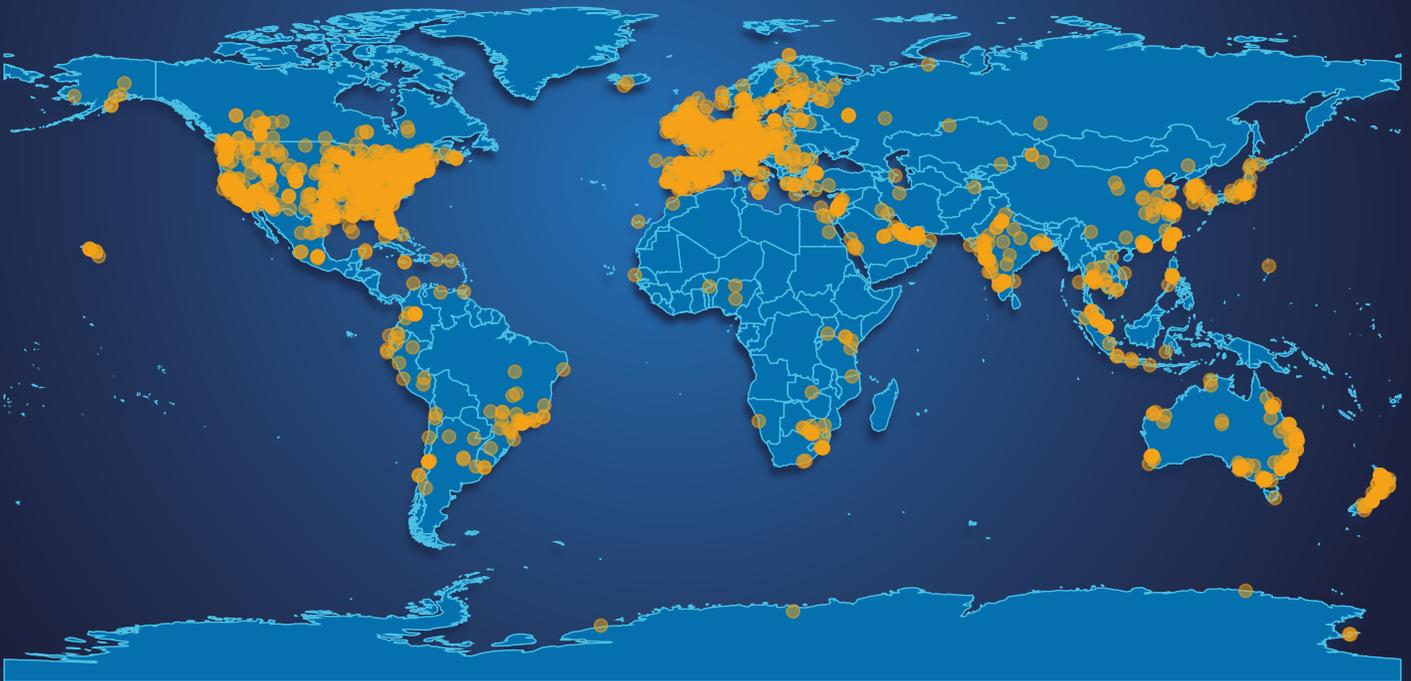
De acuerdo con la distribución de los proyectos, el 50% de los países seleccionados tienen registrados menos de cuatro proyectos; mientras que el 15% de los países seleccionados tienen al menos 27 proyectos de IoT, lo que hace visible la brecha en el desarrollo del IoT entre países.

158 Lo anterior considerando únicamente a los países miembros de las Naciones Unidas. Para mayor información respecto al número total de países, favor de remitirse a la siguiente nota: BBC (2019), *¿Cuántos países existen y por qué es tan difícil responder a esa pregunta?*. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48153621>

159 Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://technology.globaldata.com/Analytics/CompetitorTrackers/IoTDeploymentTrackingDatabase>

Como se puede observar en la Figura 11, los países que destacan por la cantidad de proyectos IoT son **Estados Unidos** (959); **Reino Unido** (423); **Canadá** (108); **Alemania** (104); **España** (98); **Italia** (63); **India** (61); **Francia** (58); **Países Bajos** (57); **China** (53); **Nueva Zelanda** (41); **Suiza** (40); **Bélgica** (37); **Brasil** (30), y **Emiratos Árabes** (27). En el caso de **México**, el lugar en el *ranking* mundial es el 26 con un total de 14 proyectos IoT documentados.

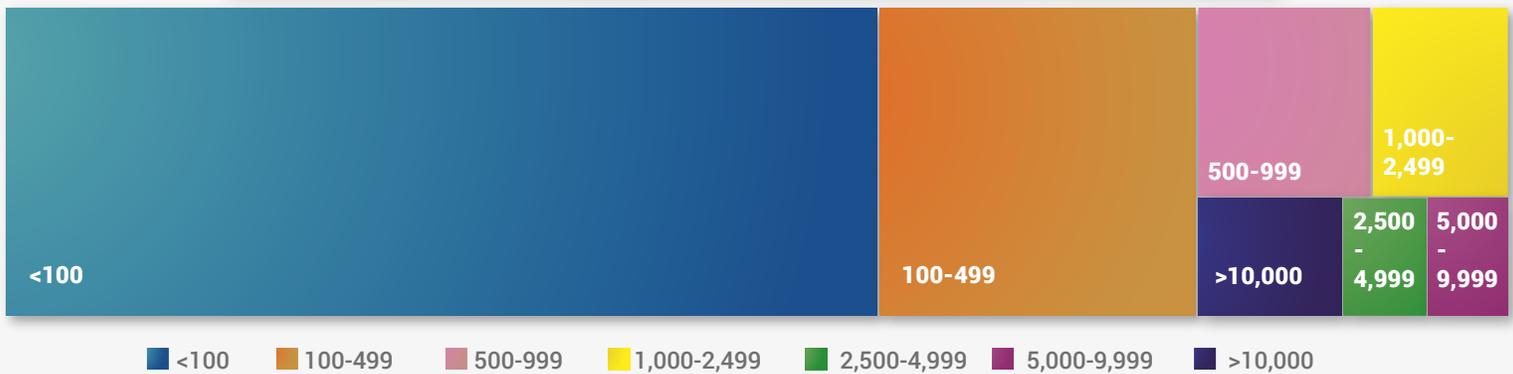
Figura 11 Distribución total de proyectos IoT en el Mundo (diciembre 2019)



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

Cuando se analizan los proyectos IoT a nivel mundial considerando el número de dispositivos que se tiene proyectado conectar, se observa que el 59% del total de proyectos IoT documentados son de baja densidad; es decir, implican menos de 100 dispositivos conectados, en tanto que los proyectos con el mayor número de dispositivos conectados (v.gr. más de 10,000) únicamente representan el 3.6%; que equivale a 102 proyectos de los 2,780 documentados a nivel mundial (véase Figura 12).

Figura 12 Distribución total de proyectos por el número de dispositivos conectados



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

¿En qué países se encuentran los proyectos con mayor número de dispositivos conectados?

Se trata de 102 proyectos, que se encuentran en 31 países, entre los cuales destaca Estados Unidos que contabiliza 33 proyectos; Inglaterra 15; Canadá, Francia y España con 5. Los países latinoamericanos que cuentan con algún proyecto con necesidades de conectividad para un número alto de dispositivos conectados son Argentina (Solución para ciudad inteligente con sistema de gestión de 15,000 luces de tráfico con tecnología LED), Colombia (distribución de energía eléctrica) y República Dominicana (gestión de la distribución de energía eléctrica en el país).

Figura 13 Distribución total de proyectos IoT en el Mundo (diciembre 2019), por número de dispositivos conectados



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

¿Cuál es el panorama en México?

En el caso de México, se encuentran documentados 14 proyectos de IoT. El proyecto más grande se refiere al despliegue de un sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) para el control y monitoreo de agua en Saltillo, Coahuila, proyecto que implica conectar entre 5,000 y 9,999 dispositivos.

Los proyectos más grandes identificados en México se describen en la siguiente tabla, incluyendo sus principales características.

Tabla 3 Proyectos relevantes de IoT en México

Nombre del Proyecto	Sector	Oferente	Servicio	Dispositivos conectados	Tipo de conectividad
Siemens: Monitoreo de equipo ¹⁶⁰	Equipamiento	Amazon Web Services	Monitoreo de condiciones	< 100	Corto alcance, baja potencia
Toreo Parque Central: Monitoreo de equipo ¹⁶¹	Equipamiento	Intelli Site Solutions, JMA Wireless	Monitoreo de condiciones	< 100	Celular
MetMex Peñoles: Control de equipo ¹⁶³	Equipamiento	Matrikon	Automatización avanzada	< 100	Conectividad Alámbrica
Stanley Black & Decker: Monitoreo de equipo ¹⁶³	Equipamiento	Cisco, AeroScout	Automatización Avanzada	< 100	Celular
BANOBRAS: monitoreo de vehículos ¹⁶⁴	Vehículos	SICE, OCACSA-GAMI	Sistemas de pago inteligentes	< 100	Conectividad Alámbrica
Promofront: Rastreo de vehículos	Vehículos	Impin, CADI	Seguimiento de equipo	< 100	Corto alcance, baja potencia
Tren Ligero de la Ciudad de México: Monitoreo de Vehículos	Vehículos	Bombardier, Ikusi, Cisco	Edificios inteligentes	< 100	Corto alcance, baja potencia
Aeropuerto Internacional de Cozumel: Monitoreo de Personas	Gente	ST Electronics	Ciudad inteligente	< 100	Celular
Aeropuerto Internacional de Cancún: Monitoreo de Personas	Gente	ST Electronics	Ciudad inteligente	< 100	Celular

160 Para mayor información sobre este proyecto visite: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Siemens-y-Ama-zon-digitalizan-planta-de-Monterrey-20180520-0019.html>

161 Para mayor información sobre este proyecto visite: <https://www.rcrwireless.com/20160411/network-infrastructure/das-case-study-connected-toreo-parque-central-mexico-city-tag17> y https://info.jmawireless.com/hubfs/Case_Study_Toreo_Parque_Central.pdf

162 Para mayor información sobre este proyecto visite: <https://mineriaenlinea.com/2019/03/met-mex-penoles-invertira-mas-de-900-mdd-para-este-ano/>

163 Para mayor información sobre este proyecto visite: <https://americas.thecisconetwork.com/site/content/lang/es/id/2667>

164 Para mayor información sobre este proyecto visite: <https://transparencia.banobras.gob.mx/wp-content/uploads/2017/08/79-FID-1936-PDAL-02012017.pdf>

Tabla 3 **Proyectos relevantes de IoT en México**

Nombre del Proyecto	Sector	Oferente	Servicio	Dispositivos conectados	Tipo de conectividad
Torre Anseli: Control de edificios y monitoreo	Edificios	OTI	Edificios inteligentes	< 100	Conectividad Alámbrica
Instituto de la Salud Carlos Slim: Monitoreo de Personas	Gente	Treeline Interactive	Salud	100 - 499	Corto alcance, baja potencia
Ciudad de México: Control y monitoreo de recursos naturales	Recursos Naturales	Silver Spring Networks, Tecnologías EOS	Medición inteligente	500 - 999	Corto alcance, baja potencia
Comisión Federal de Electricidad: Equipamiento, control y monitoreo ¹⁶⁵	Equipamiento	Freewave	Medición inteligente (Solución M2M)	1,000 - 2,499	Celular ¹⁶⁶
Aguas de Saltillo: Control y monitoreo de recursos naturales ¹⁶⁷	Recursos Naturales	Inductive Automation	Monitoreo de la calidad	5,000 - 9,999	Conectividad Alámbrica

Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

El segundo proyecto con el mayor número de dispositivos conectados corresponde a la Comisión Federal de Electricidad y tiene como objetivo proporcionar comunicación M2M para aplicaciones de *Smart Grid* con un intervalo de dispositivos conectados de entre 1,000 y 2,499; este rango representa el 4.97% de los sensores que se están desplegando a nivel mundial.

El tercer proyecto, en términos de dispositivos conectados en México, se refiere a un servicio para conectar los medidores de consumo de energía eléctrica en la Ciudad de México para optimizar el monitoreo, aumentar los ingresos y mejorar la confianza en el mercado de energía eléctrica; este proyecto implica de 500 a 999 dispositivos conectados. Este rango representa el 7.05% del total de los sensores a nivel mundial que se están desarrollando.

165 Para mayor información sobre este proyecto, visite: <https://www.freewave.com/wp-content/uploads/2018/12/case-study-smart-grid.pdf>

166 Para mayor información visite: <https://iotbusinessnews.com/2011/12/15/2013-mexican-utility-taps-freewave-for-smart-grid-project/>; de acuerdo con el estudio de Cuevas, J. (2018), *Reporte IoT*. Página (6). Disponible en: http://cen-trodeestudios.ift.org.mx/documentos/publicaciones/2018/Reporte_IoT_espectroJLCR.pdf, las bandas de mayor uso en el continente americano para servicios de IoT son: EC-GSM, UMTS, NB-IoT y LTE-M como tecnologías celulares; en tanto que LoRa y Sigfox se utilizan como bandas libres que operan en los 900MHz, de los 902 a 928 MHz, e Ingenu en los 2.4 GHz, basado en información de OVUM.

167 Para mayor información sobre este proyecto, visite: <https://inductiveautomation.com/resources/casestudy/water-agency-welcomes-the-future-with-ignition>

El 71% de los proyectos documentados en México (10 de los 14) prevén menos de 100 dispositivos conectados y las actividades en las que se aplicará son diversas, y van desde equipamiento para hacer más eficientes los procesos productivos, vehículos, personas y construcciones. En general, la conectividad proporcionada incluye temas propios de ciudades inteligentes (2 proyectos), cuyo principal cometido es detectar altas temperaturas en las personas que permita reacción inmediata contra enfermedades como la influenza a través de las redes celulares, habilitados para los aeropuertos de Cancún y Cozumel.

¿Qué tipo de conectividad se utiliza regularmente por tamaño de proyecto?

En el ámbito internacional, identificar el tipo de conectividad que se utiliza permite determinar la capacidad que se podría requerir para ciertas soluciones IoT. Para responder a esta pregunta, se resume la relación entre la variable categórica, número de dispositivos y el tipo de conectividad a través de la tabla de contingencia para los 2,780 proyectos documentados (ver Tabla 4).

Tabla 4 Número de dispositivos utilizados en los proyectos de IoT y la tecnología de conectividad

# de Dispositivos	Celular	LPWA				Satélite	Corto alcance, baja potencia	Conectividad alámbrica	Total
		LoRa	NB-IoT	Sigfox	Otras				
< 100	533	79	10	26	9	59	665	258	1,639
100 - 499	172	40	10	21	3	28	243	81	598
500 - 999	56	9	3	3	2	3	102	18	196
1,000 - 2,499	30	5	10	5	2	3	61	22	138
2,500 - 4,999	17	3	0	0	2	2	30	7	61
5,000 - 9,999	12	3	1	0	2	1	18	9	46
> 10,000	23	4	1	2	9	1	37	25	103
Total	843	143	35	57	29	97	1,156	420	2,780

Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

Es importante reconocer, tal y como se determinó en el Capítulo 1, que las bandas LoRa, NB-IoT y Sigfox también se consideran del tipo LPWA. No obstante, se separan del resto de tecnologías de LPWA derivado de su relevancia en términos del número de proyectos que representan.

En general, destacan por su uso las tecnologías inalámbricas de corto alcance¹⁶⁸ (1,156 proyectos, equivalentes al 41.6%) debido a la facilidad para utilizarlas y que permiten crear redes inalámbricas personales, además de que suelen operar en bandas de uso libre, lo que resulta más económico y rápido para acceder a las frecuencias. La tecnología celular es la segunda tecnología utilizada para soluciones IoT debido a sus grandes ventajas de cobertura con múltiples proveedores y su capacidad de transmisión de datos, características que se verán mejoradas con la adopción de las redes 5G (843 proyectos, equivalentes al 30.3% del total de proyectos documentados a nivel mundial). Adicionalmente, la conectividad alámbrica que facilita conexiones estables cuenta con 420 proyectos en total y representan el 15% del total del universo total. Gracias a sus características, estas tres tecnologías son las más utilizadas para proyectos con requerimientos de conectividad masivos (más de 10,000 dispositivos).

En general, los datos sugieren que las tecnologías de largo alcance y baja potencia (LPWA) se utilizan marginalmente en relación con las tecnologías de corto alcance, celular y alámbrica. En particular, las tecnologías LPWA más utilizadas, LoRa (5.14% del total de proyectos IoT), NB-IoT (1.25%) y Sigfox (2%), representan juntas únicamente el 8.4% del total de dispositivos conectados a nivel mundial. No obstante, se espera que conforme se tenga un mayor despliegue de las tecnologías como la banda ancha (NB-IoT) o el LTE-M, aumentará su adopción.

Recordemos que los planes para desarrollar el IoT en diversos países concentran sus esfuerzos en la tecnología NB-IoT y en la LTE-M. Por ejemplo, para desarrollar la economía, mejorar la vida, apoyar a las comunidades y proteger el medio ambiente, el operador AIS, ha desplegado NB-IoT y LTE-M para mejorar la conectividad en Tailandia¹⁶⁹. Otro ejemplo en Tailandia es True Mobile, que ha desplegado servicios de IoT con redes NB-IoT; estos servicios incluyen vigilancia de niños, red para automóviles, circuitos cerrados de televisión 4G, monitoreo de salud y soluciones para ciudades inteligentes¹⁷⁰.

Deutsche Telekom ha construido redes NB-IoT en ocho países y provee de servicios a ciudades inteligentes, esto a través de la construcción de un *hub* en 2016, que funciona como impulsor de *startups* innovadores¹⁷¹.

168 Como se mencionó en la Tabla 2, entre las principales tecnologías de corto alcance se encuentran: **Radio Frequency Identification (RFID)** con radiofrecuencias entre los 100kHz a los 10 GHz y un rango de cobertura promedio de 3 a 5m en dispositivos pasivos y de 100m en dispositivos activos, con almacenamiento de 128 bytes; **Bluetooth** con radiofrecuencias de 2.4 GHz en bandas de radio industriales, científicas y técnicas ISM, con un rango de cobertura entre 1 y 100 metros y velocidades de hasta 1 Mbps para enviar pequeños paquetes de datos. **ZigBee** con radiofrecuencias que no requieren licencia o autorización en los rangos 2.4 GHz con velocidades 150 Kbps, 868 MHz con 20 Kbps y 915 MHz a 40 Kbps.

169 Huawei (2019), *Thailand IoT Industry White Paper. IoT Technologies, Ecosystem and Application Development Guide*. Página (16). Disponible en: https://www.huawei.com/minisite/iot/pdf/thailand_iot_white_paper.pdf

170 Huawei (2019), *Thailand IoT Industry White Paper. IoT Technologies, Ecosystem and Application Development Guide*. Página (17). Disponible en: https://www.huawei.com/minisite/iot/pdf/thailand_iot_white_paper.pdf

171 Huawei (2019), *Thailand IoT Industry White Paper. IoT Technologies, Ecosystem and Application Development Guide*. Página (18). Disponible en: https://www.huawei.com/minisite/iot/pdf/thailand_iot_white_paper.pdf

China Telecom, en 2017, realizó pruebas piloto de NB-IoT para permitir la medición inteligente de agua y gas en China. Estas pruebas fueron diseñadas para verificar una solución NB-IoT de extremo a extremo, en el que se incluyeron equipos terminales, las estaciones base, la red central, la plataforma IoT y la aplicación de servicio¹⁷². También planea implementar conectividad NB-IoT para aplicaciones de agricultura inteligente, estacionamiento inteligente, monitoreo de calidad del aire y gestión de activos¹⁷³. Por su parte China Mobile, está implementando conexiones NB-IoT en proyectos focalizados en iluminación inteligente (con Insigma Group y Huawei), estacionamiento inteligente (con Huawei) y control de la calidad del agua (con ZTE) en diversas ciudades de China. A finales de 2017 ya cubría 346 ciudades chinas con su red NB-IoT¹⁷⁴.

Esta tendencia se refuerza considerando las aplicaciones que se esperan con esta tecnología y la capacidad de tráfico de datos que soportará, de acuerdo con la Tabla 5.

Tabla 5		Resumen de la capacidad de NB-IoT					
Aplicación	# de dispositivos en una célula	Intervalo de tiempo promedio para subir un reporte	# de bytes por subida de datos por dispositivo	Tráfico total diario de subida (KB)	Intervalo de tiempo promedio para bajar un reporte	# de bytes de bajada de datos	Tráfico total diario de bajada (KB)
Monitoreo del Agua	37,500	1/día	200	7,324	1/semana	50	262
Monitoreo de gas	37,500	4/horas	100	351,652	1/semana	50	262
Gestión de residuos	100	1/hora	50	117	Ninguno	Ninguno	0
Monitoreo de contaminación	150	1/hora	1,000	3,515	2/día	1,000	293
Alertas de contaminación	20	4/hora	5,000	9,375	1/semana	1,000	3
Alumbrado público	200	1/día	20,000	3,906	2/día	1,000	390
Gestión de estacionamientos públicos	80,000	1/hora	100	187,500	1/día	100	7,812
Autoservicio de renta de bicicletas	500	4/hora	50	2,344	1/hora	50	586
Total	155,733			565,733			9,608

Fuente: IFT con información de Century Writer (2020), *Connectivity Internet of Things 2020*. Página (13).

172 Quectel se dedica a la venta de módulos y celdas para la conectividad de IoT. Véase para mayor información: <https://www.quectel.com/>

173 GSMA (2019), *China Telecom pilots NB-IoT for smart metering applications in Shenzhen*. Disponible en: <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-pilots-operator/china-telecom-2/>

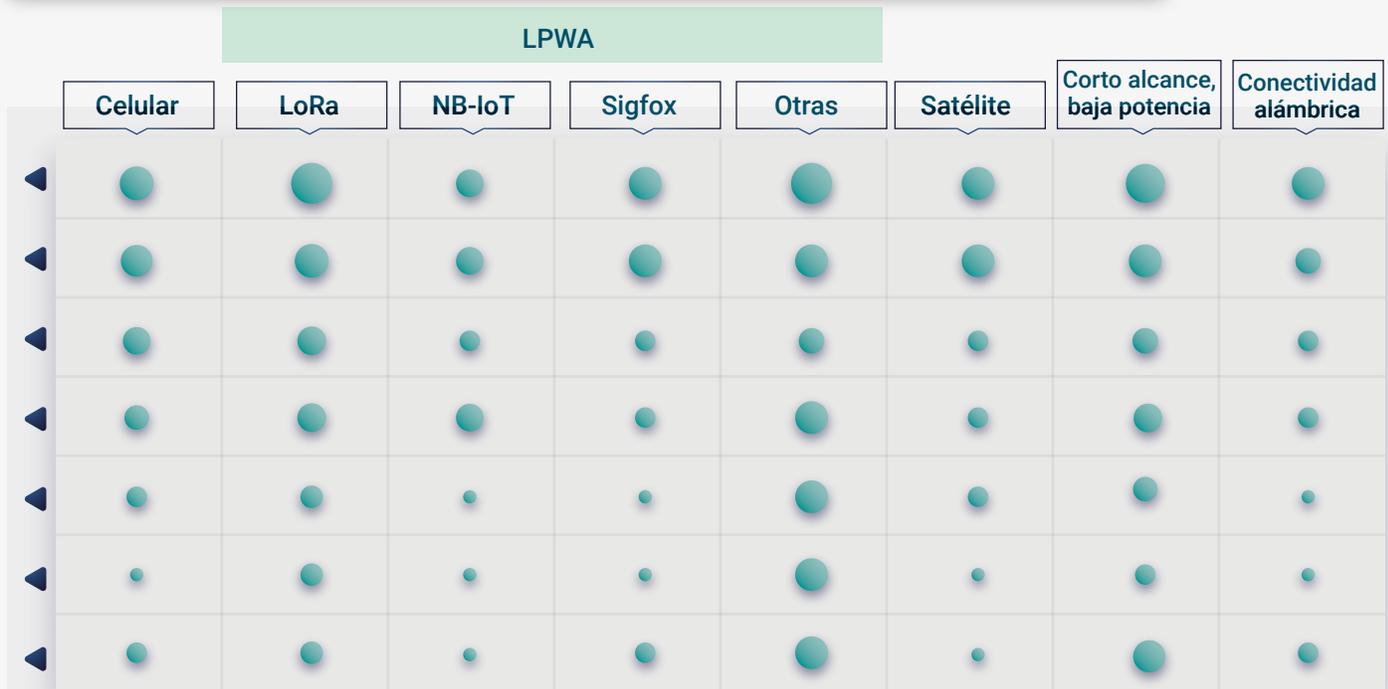
174 ICEX (2018), *Internet of Things (IoT) en China*. Disponible en: <https://www.icex.es/icex/GetDocumento?dDocName=-DOC2018791739&urlNoAcceso=/icex/es/registro/iniciar-sesion/index.html?urlDestino=https://www.icex.es.443/icex/es/navegacion-principal/todos-nuestros-servicios/informacion-de-mercados/paises/navegacion-principal/el-mercado/estudios-informes/DOC2018791739.html?idPais=CN&site=icexES>

En particular, esta tecnología tiene la característica de mayor cobertura y baja latencia, además, a diferencia de la tecnología celular (LTE), tiene bajos costos de conexión. En este sentido, las prácticas internacionales revisadas han reconocido el papel de la banda para IoT (NB-IoT) y LTE-M en el corto plazo y la tecnología 5G en el mediano plazo como elementos relevantes para el desarrollo de lo que se considera el factor de cambio en la cuarta revolución industrial y, para algunos, el eventual estándar universal del IoT para aplicaciones donde el desempeño de las redes de tiempo real es crítico. Los resultados de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019¹⁷⁵ refuerzan la conclusión respecto a la necesidad de contar con mayor espectro para sistemas 5G, toda vez que los países asistentes tomaron la decisión de identificar espectro adicional propicio para las IMT, favoreciendo los escenarios de uso para IoT, entre otros.

Como cualquier industria que comienza un proceso de adopción tecnológico, todas las tecnologías se encuentran en una fase de lanzamiento o adopción, por lo tanto no existe una tecnología dominante en aquellos proyectos que requieren un rango menor de dispositivos conectados o implican menores costos por unidad (v.gr. en el caso de la muestra de países analizados, se trata de aquellos proyectos con menos de 100 dispositivos y aquellos de 100 hasta 499 dispositivos conectados); lo anterior en virtud del comportamiento esperado en la curva de demanda de la red, que como se vio en el Capítulo 2, en la etapa de lanzamiento la demanda crece derivado de las expectativas futuras de la nueva red que puede generar una retroalimentación positiva y acelerar su crecimiento.

175 La Conferencia Mundial de Radio Comunicaciones 2019, se llevó a cabo del 28 de octubre al 22 de noviembre de 2019, donde se identificaron bandas IMT adicionales en 24.25-27.5 GHz, 37-43.5 GHz, 45.5-47 GHz, 47.2-48.2 y 66-71 GHz facilitando el desarrollo de la tecnología 5G. Asimismo, se destinaron las bandas 22.55-23.15 GHz en orden de permitir su uso para seguimiento de satelital, telemetría y control. Para más detalles, ITU (2019), *World Radiocommunication Conference 2019 (WRC-19), Sharm el-Sheikh, Egypt, 28 October to 22 November 2019*. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-R/conferences/wrc/2019/Pages/default.aspx>

Tabla 6 Relación estadística entre el número de dispositivos y tecnología de conectividad.



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com>

Nota: El tamaño del círculo denota el porcentaje de participación del rango de dispositivos en la tecnología de conectividad.

En la Tabla 6 se visualiza que la tecnología LPWA es la que tiene una distribución más uniforme independientemente del tamaño del proyecto. Este tipo de tecnologías tienen como característica coberturas extendidas de 10 a 15 km en áreas rurales y de 2 a 5 km en áreas urbanas, bajo costo de despliegue, bajo costo de los dispositivos, soporte para números masivos de dispositivos y baterías de larga duración, sin embargo, sus tasas de transmisión son muy bajas.

Finalmente, la prueba de Chi-Cuadrada confirma una relación positiva entre la variable de número de dispositivos conectados y la tecnología utilizada, lo que implica una relación significativa entre la tecnología que se va a adoptar para la conectividad y el número de dispositivos. En este sentido, este resultado nos permite suponer que la variable oculta en esta relación se refiere al costo de despliegue de cada tecnología, asociado a la masa crítica y a los diferentes tipos de soluciones IoT.

Complementariamente, utilizando los residuales de Pearson podemos identificar algunas tendencias. En la Tabla 7, la relación positiva en azul, muestra una atracción (asociación intensa y positiva) entre los proyectos que implican más de 10,000 dispositivos conectados y las tecnologías LPWA; en el caso de los proyectos con 1,000 a 2,499 dispositivos la tecnología que tiene una evidente y fuerte asociación positiva es la NB-IoT. Por su parte, la tecnología Celular, hasta el momento presenta una mayor relación positiva con los proyectos menores a 100 dispositivos conectados, tendencia que podría cambiar en el corto plazo, en la medida en que aumente la cobertura LTE y, particularmente, con el despliegue de redes 5G.

Tabla 7 Correlación a través de los residuales de Pearson



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>



Otra pregunta relevante es determinar si **¿Existe algún patrón respecto a la relación entre la tecnología de conectividad IoT y las actividades económicas en las que se despliegan los 2,780 proyectos documentados?** En la Tabla 8 se muestra que para las dos variables (tecnología de conectividad y tipo de consumidores) se tiene una relación mucho más estrecha que con el tamaño de los proyectos. Partiendo de una Chi-Cuadrada excesivamente alta (1,005.185), lo que confirma una relación estadística entre ambas variables.

Tabla 8 Número de dispositivos utilizados en un proyecto de IoT y la actividad económica específica

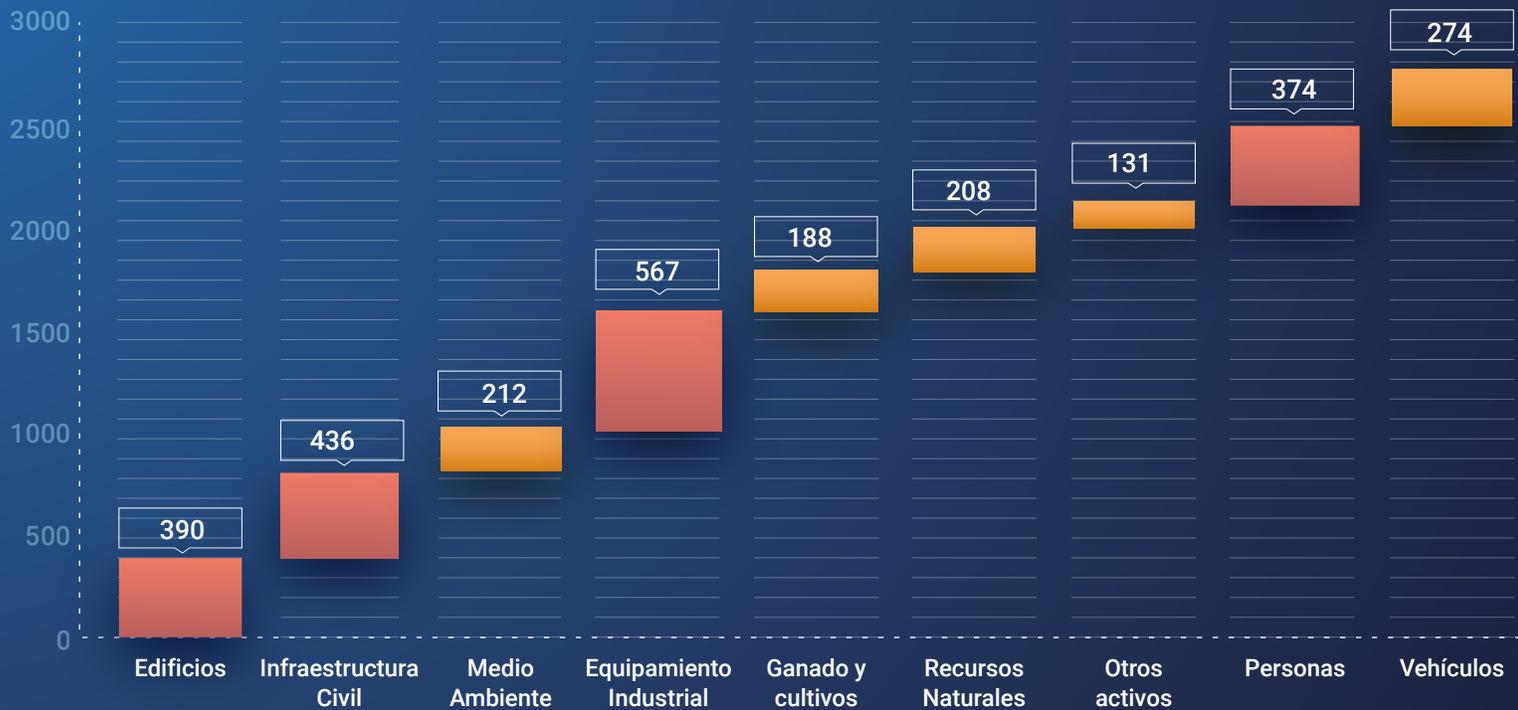
# de dispositivos	Edificios	Infraestructura Civil	Medio Ambiente	Equipamiento Industrial	Ganado y Cultivos	Recursos Naturales	Otros Activos	Personas	Vehículos	Total
< 100	248	181	160	366	131	77	76	246	154	1639
100-499	84	109	35	126	28	30	26	83	77	598
500-999	32	47	10	18	11	21	6	25	26	196
1,000-2,499	15	37	1	27	12	18	7	11	10	138
2,500-4,999	1	16	0	7	4	14	7	6	6	61
5,000-9,999	4	12	0	8	1	16	3	2	0	46
>10,000	6	34	6	15	1	32	6	1	1	102
Total general	390	436	212	567	188	208	131	374	274	2780

Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

Las actividades que tienen un mayor número de proyectos IoT de conectividad por encima de los 10,000 dispositivos y con un impacto social importante son los de Infraestructura civil (33% del universo de proyectos con más de 10,000 dispositivos) y los de recursos naturales (con el 31% del mismo universo) (ver tabla 8).

En términos del número total de proyectos, destacan los despliegues de IoT para equipamiento Industrial (20.3% de los proyectos totales a nivel global), Infraestructura Civil (15.68%), Edificios Inteligentes (14%) y Personas (13.4%) (ver Figura 14).

Figura 14 Las actividades económicas con mayor número de proyectos IoT



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

Todas las actividades documentadas concentran en mayor medida sus proyectos de IoT en aquellos que requieren un rango menor de dispositivos conectados o implican menores costos lo que se puede deber a que nos encontramos en una etapa temprana de adopción del IoT. La tabla 9 también muestra que la gestión de recursos naturales tiene la distribución más uniforme en términos de su cartera de proyectos por número de dispositivos conectados, al presentarse un peso relativo más balanceado en cada uno de los mismos. Bajo este criterio, le siguen las actividades de Infraestructura Civil y Otros Activos; mientras que Edificios, Medio Ambiente, Ganado y Cultivos y Personas concentran la mayor parte de sus proyectos a despliegues que implican menos de 499 dispositivos.

Tabla 9 Relación estadística entre el número de dispositivos y actividades económicas


◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com>

Nota: El tamaño del círculo denota el porcentaje de participación del rango de dispositivos en la tecnología de conectividad.

La prueba de Chi-Cuadrada para estas dos variables confirma una relación positiva entre la variable de número de dispositivos conectados y la actividad económica, confirmando una considerable relación entre las actividades económicas y el número de dispositivos. La Tabla 10 muestra los residuales de Pearson positivos en azul, confirmando una atracción (asociación intensa y positiva) entre los proyectos que implican más de 10,000 dispositivos conectados y las actividades de gestión de Recursos Naturales. En segundo lugar, para la misma actividad se encuentran los proyectos con un rango de dispositivos conectados de entre 5,000 y 9,999.

Para el caso de los proyectos asociados con la Infraestructura Civil, se observa una relación negativa o de rechazo a los proyectos que implican menos de 100 dispositivos conectados. En contraste con los Edificios, Medio Ambiente, Equipamiento industrial, Ganado y Cultivos; y Personas, cuya preferencia por proyectos de bajo requerimiento de conectividad (menos de 100 dispositivos) es positiva.

En el caso de los proyectos que tienen que ver con Vehículos (poco más de 274), la relación es positiva en cuanto a proyectos con una escala de conectividad de entre 100 y 499 dispositivos y, en menor medida, los proyectos de entre 500 y 999 proyectos.

En resumen, las actividades con mayor propensión a desplegar conectividad IoT a gran escala y con mayor diversidad en términos de escala de conectividad son: Recursos Naturales e Infraestructura Civil.

Tabla 10 Correlación a través de los residuales de Pearson



◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>.

¿Qué puede decirnos la relación estadística entre el tipo de actividades que despliegan proyectos de IoT y la tecnología que se utiliza? ¿Existe algún patrón que debería destacarse?

La relación estadística muestra que las industrias de IoT para Personas, Equipamiento Industrial, Edificios e Infraestructura Civil recurren con mayor frecuencia a las tecnologías de corto alcance (41.5% del total de proyectos documentados internacionalmente) (ver tabla 11).

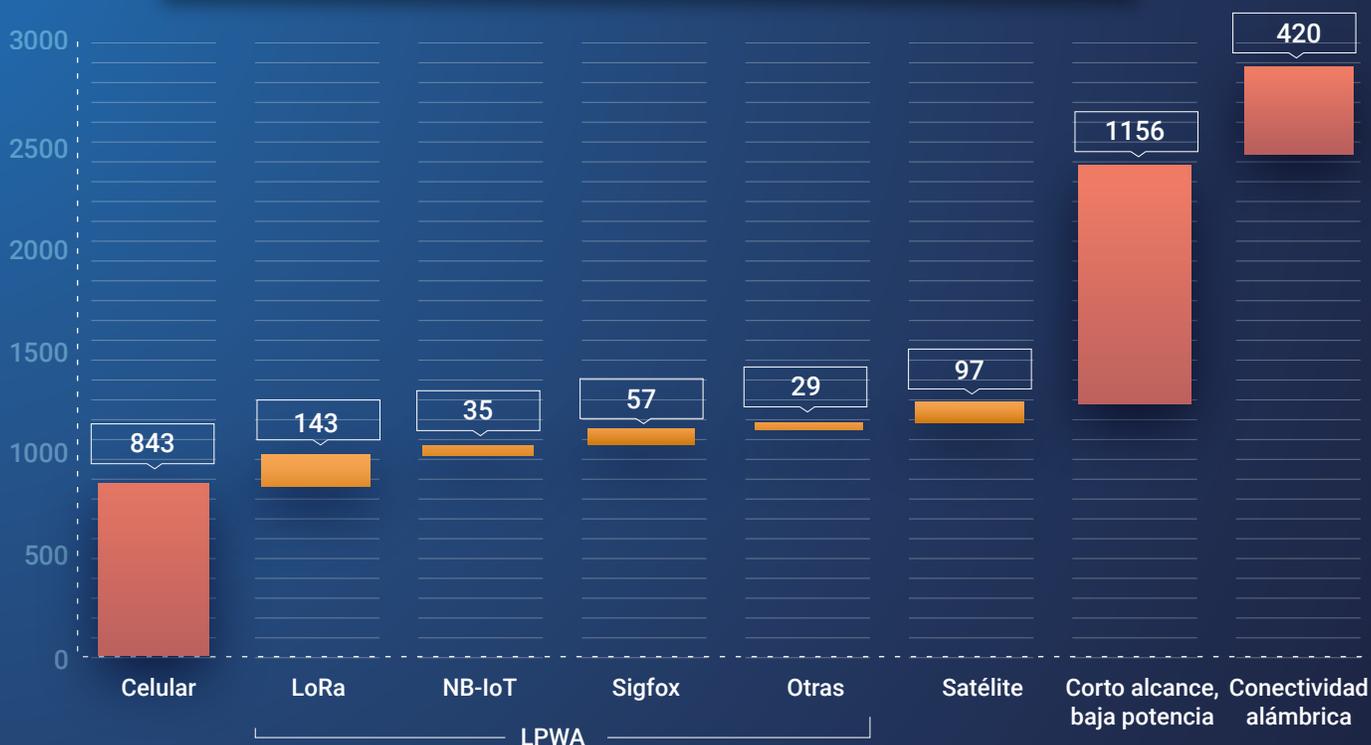
Tabla 11 Tecnología reportada para los proyectos de IoT y los sectores donde se aplicarán

Tecnología	Edificios	Infraestructura Civil	Medio Ambiente	Equipamiento Industrial	Ganado y Cultivos	Recursos Naturales	Otros Activos	Personas	Vehículos	Total
Celular	87	198	107	91	89	57	18	53	143	843
LPWA	LoRa	7	45	27	29	10	14	3	6	143
	NB-IoT	4	11	2	2	1	9	1	3	35
	Sigfox	2	13	11	5	4	1	19	2	57
	Otras	2	14	2	0	1	4	5	0	29
Satélite	0	6	4	16	3	6	5	6	51	97
Corto alcance, baja potencia	175	122	39	268	77	65	83	269	58	1156
Conectividad alámbrica	113	27	20	156	3	52	20	18	11	420
Total general	390	436	212	567	188	208	131	374	274	2780

Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

Del mismo modo, los sectores de Infraestructura Civil (23.5% del total de proyectos IoT con conectividad celular), Vehículos, Medio Ambiente y Ganado y cultivos utilizan principalmente las tecnologías celulares.

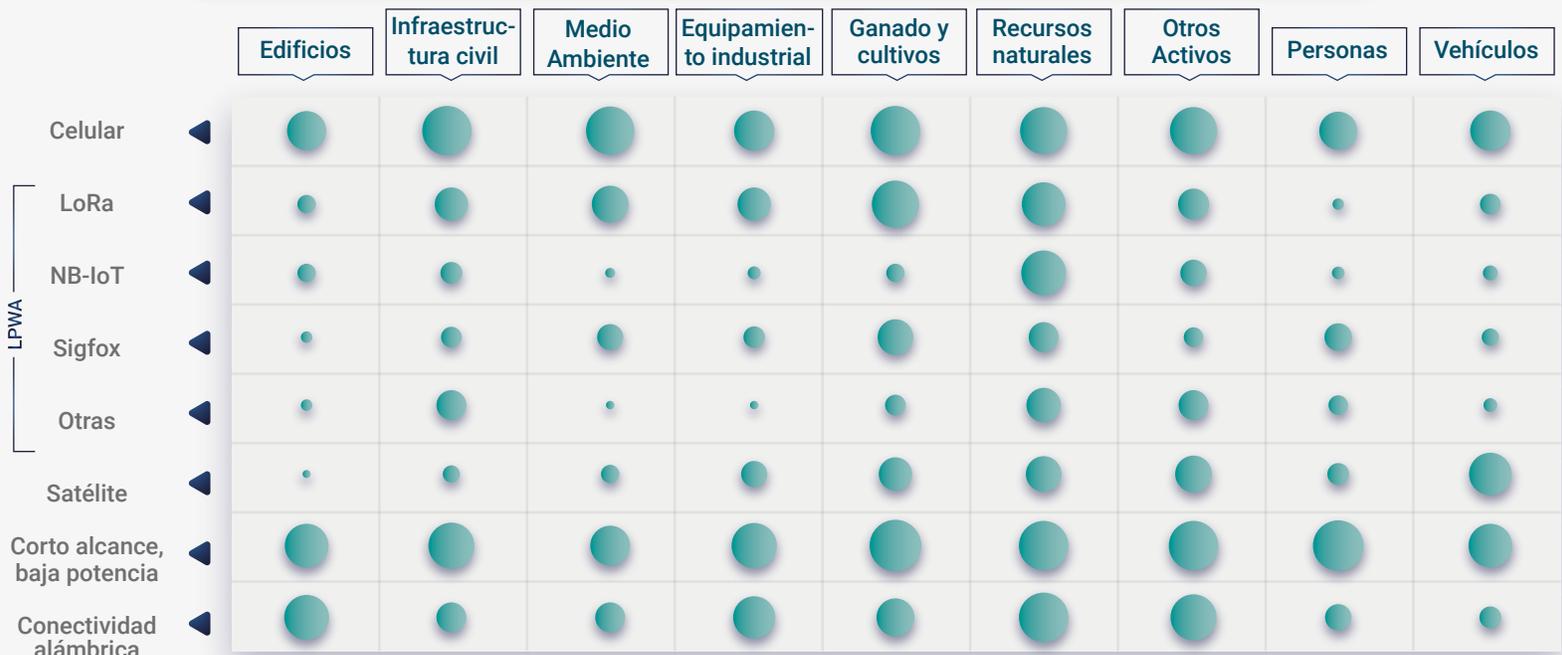
Como se puede ver en la Figura 15, las tecnologías de conectividad más utilizadas en los proyectos de IoT son por orden de importancia: (i) Corto Alcance (41.6% del total de proyectos); (ii) Celular (30.3%), y (iii) Alámbrica (15.1%). Tecnologías de conectividad que en conjunto representan el 87% del total de proyectos de IoT a nivel mundial.

Figura 15 Las tecnologías de conectividad más utilizadas en proyectos IoT

Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

En la Tabla 12 es posible visualizar la tendencia tecnológica de conectividad que impera en los proyectos de IoT a nivel mundial. En particular, se confirma que las tecnologías de corto alcance, celular y alámbricas son las que se adoptan en cualquier sector de actividad. Existen tendencias también muy marcadas como el caso de LoRa que se utiliza con mayor frecuencia en la gestión de Recursos Naturales, Infraestructura Civil y en Ganado y cultivos.

Tabla 12 Relación estadística entre la tecnología de conectividad y los sectores de adopción



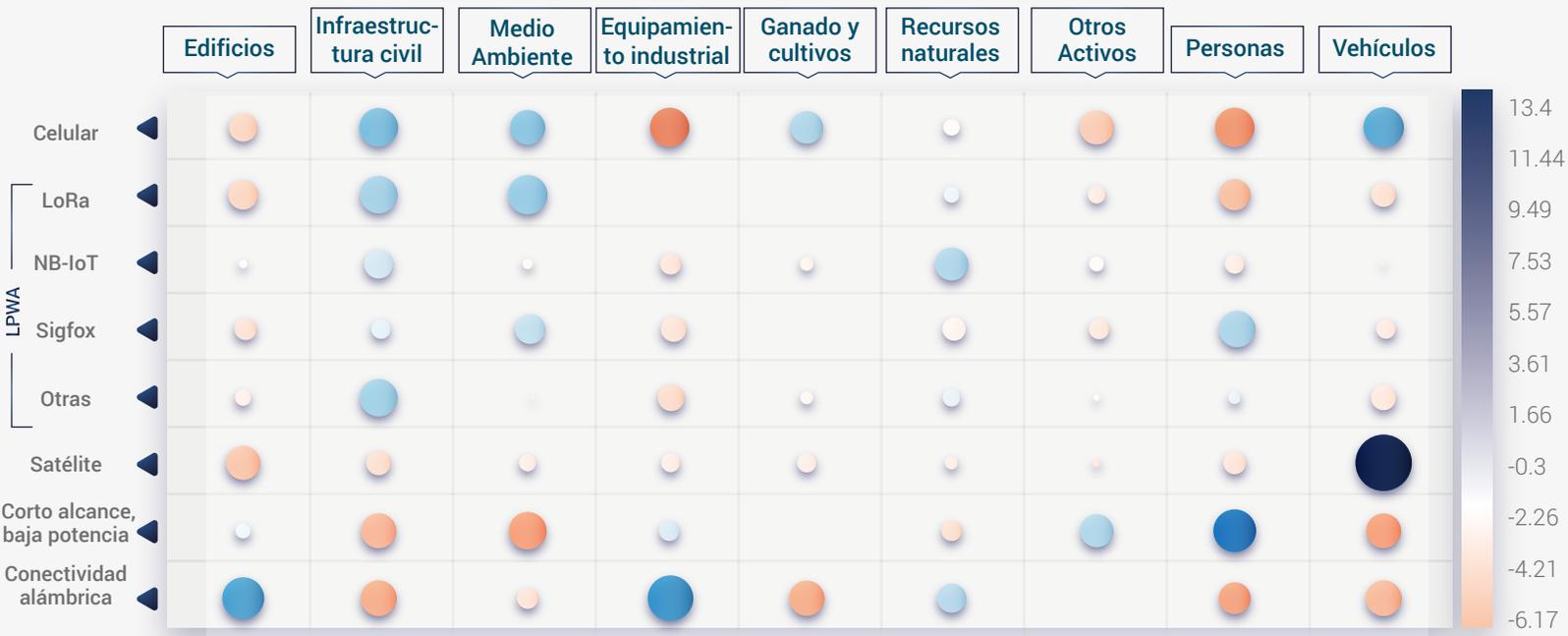
◀ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com>
 Nota: El tamaño del círculo denota el porcentaje de participación del rango de dispositivos en la tecnología de conectividad.

Respecto a la relación estadística de ambas variables (v.gr. tecnología de conectividad y sectores de actividad), se observa que sí hay una asociación significativa y relativamente alta (chi-cuadrada de 1,005.2) entre la tecnología utilizada y el tipo de sector en el que se despliega el proyecto, aceptando la hipótesis nula de correlación entre ambas variables.

Se observan otros patrones en los datos en relación con el grado de atracción (asociación intensa y positiva) o repulsión de cada una de las variables. Destaca en este sentido, la relación fuerte y positiva de los proyectos de IoT dirigidos a vehículos y la tecnología satelital debido a la necesidad de movilidad en la conexión.

Por otro lado, los proyectos IoT para personas tienen una relación positiva con el uso de tecnologías de corto alcance debido a la cercanía de los dispositivos a conectar.

Tabla 13 Correlación a través de los residuales de Pearson



❏ Fuente: IFT con datos de Global Data (2019), *IoT Deployment Database*. Disponible en: <https://www.globaldata.com/>

📦 Análisis exploratorio de datos de IoT con *web scraping*

En la sección anterior se identificaron los proyectos IoT por tipo de tecnología a utilizar y sector al que pertenecen, en esta sección abordaremos el estudio desde el punto de vista de la oferta de las empresas que proveen servicios de IoT a clientes diversos como gobiernos, empresas, personas, organizaciones, etc.



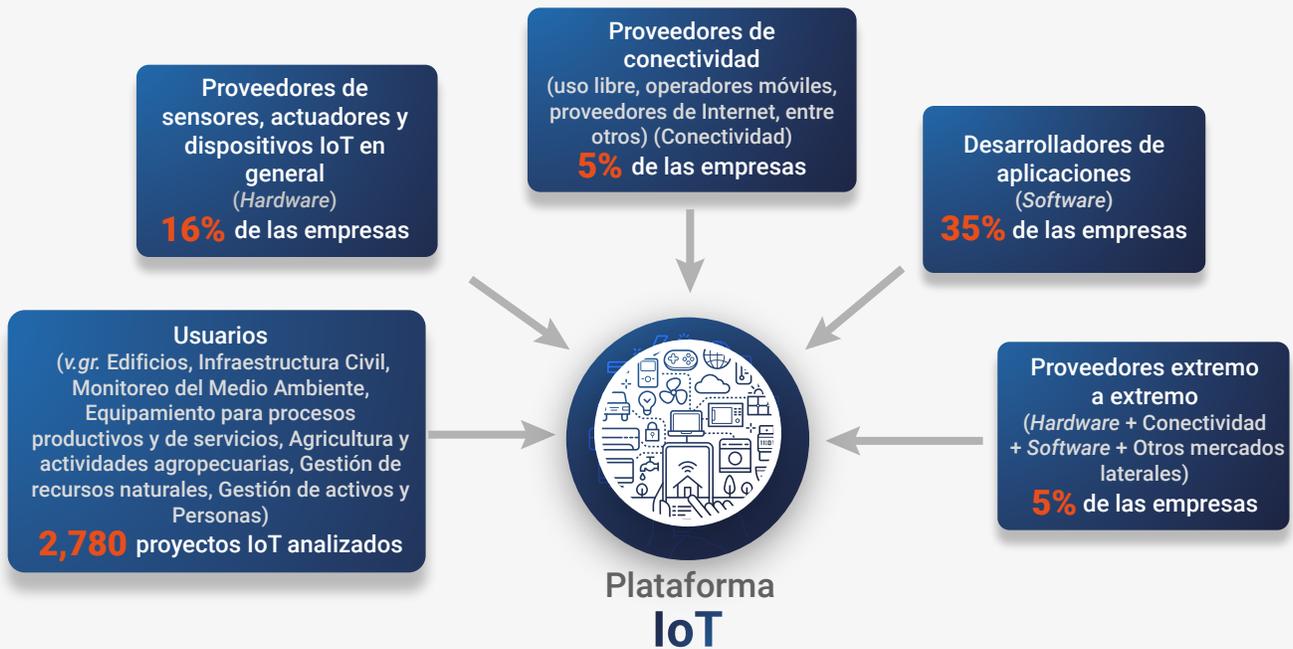
Para este análisis exploratorio se utilizan los datos obtenidos en el ejercicio de *web scraping* que como se indicó al inicio de este Capítulo, requirió el desarrollo de un código diseñado internamente en la CGPE. El diseño de este algoritmo se realizó en lenguaje Python en su versión 3.7.3 y con base en las librerías *Scrapy* y *Beautiful Soup*¹⁷⁶, a efectos de realizar consultas automatizadas a sitios específicos para extraer información (v.gr. *Items*) de las diferentes empresas identificadas como oferentes de los servicios. De este modo, se obtuvo información respecto al modelo de comercialización más utilizado por los oferentes de servicios IoT a nivel mundial de 834 empresas.

Filtrando la base a observaciones únicas resultaron un total de 530 empresas, las cuales constituyen agentes específicos de los mercados laterales identificados previamente en el Capítulo 2 (v.gr. *software*, *hardware*, conectividad y servicios extremo a extremo) (véase Figura 9). En este sentido, las empresas analizadas se pueden categorizar en cuatro mercados laterales específicos:

-  **Proveedor de conectividad** (En el modelo de negocio descrito en el Capítulo 2 se definen como proveedores de conectividad a través de espectro libre, operadores móviles, proveedores de Internet, operadores móviles virtuales, entre otros).
-  **Proveedor de *software*** (En el modelo de negocio descrito en el Capítulo 2 se definen como desarrolladores de aplicaciones).
-  **Proveedor de *hardware*** (En el modelo de negocio del Capítulo 2 se definen como proveedores de sensores, actuadores y dispositivos IoT).
-  **Proveedor extremo a extremo** (Este tipo de empresas son aquellas que además de proveer la plataforma de IoT, integran la oferta de conectividad, *software*, *hardware* y otros mercados laterales en el mismo servicio).

176 | Scrapy (2018), *Spiders*. Disponible en: <https://docs.scrapy.org/en/latest/topics/spiders.html>

Figura 16 Porcentaje de empresas que se dedican a un solo mercado lateral de IoT

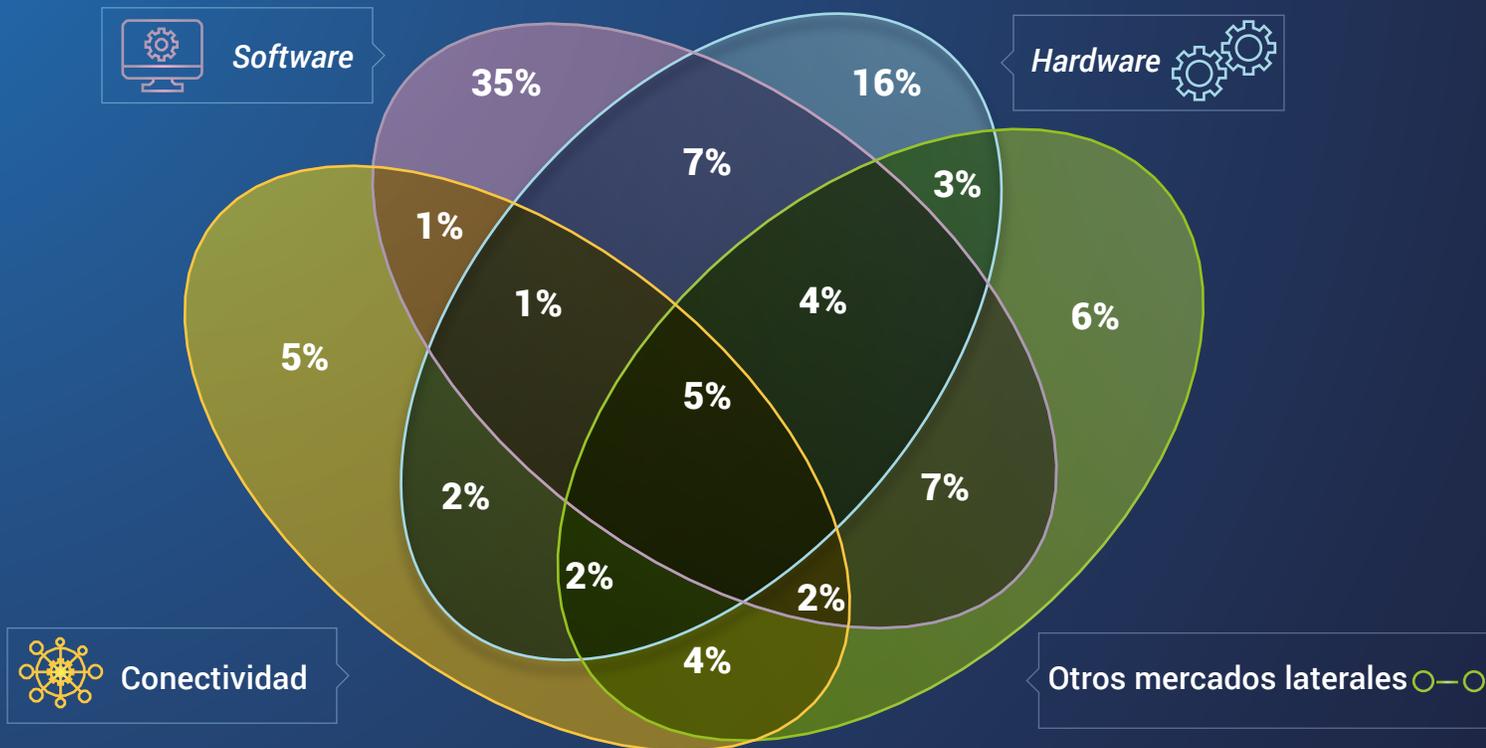


◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping*.

La oferta de servicios asociada a los mercados laterales está fragmentada dentro del universo de empresas de IoT que fueron exploradas; de las empresas que se dedican a un solo servicio, el 35% ofrecen sólo servicios de *Software*, el 16% sólo de *Hardware*, un 5% se dedican a *Conectividad* y un 5% se concentran en proveedores extremo a extremo (*Hardware + Conectividad + Software + Otros mercados laterales*) juntos suman el 61% de las ofertas.

Lo anterior implica la existencia de diferentes combinaciones de servicios entre (*Hardware, Software, Conectividad y Otros mercados laterales*), tal y como se puede ver en la Figura 17 en el Diagrama de Venn, donde cada intersección posible entre cada servicio incluye como mínimo a 5 empresas que prestan al menos la combinación de dos de los servicios de *Hardware, Software, Conectividad y Otros mercados laterales*.

Figura 17 Diagrama de Venn de los servicios ofrecidos por las empresas de IoT exploradas por el IFT



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping*.

En el diagrama se observa que únicamente el 5% de todas las empresas ofrecen los cuatro servicios (extremo a extremo) y el restante ofrece entre uno y tres servicios específicos.

Ésta evidente diversidad de ofertas (con 15 combinaciones o paquetes de servicio IoT), se considera que es producto de la diversidad de empresas que están incorporándose al mercado de IoT desde su actividad primaria (*v.gr.* operadores móviles tradicionales y virtuales; productores de sensores, dispositivos o actuadores; proveedores de aplicaciones, entre otros), a fin de incursionar en otros servicios de la cadena de valor a través de mecanismos estratégicos, tales como el desarrollo de una nueva división en la compañía, la fusión o adquisición del control o cualquier acto por virtud del cual se unan sociedades, asociaciones, acciones, partes sociales, fideicomisos o activos en general.

La amplia diversidad de ofertas también se refleja en la heterogeneidad entre dispositivos, sensores y actuadores que se han desplegado con diferentes protocolos y en diversas tecnologías, lo que dificulta un ambiente de IoT homogéneo y con posibilidad para que los usuarios migren entre los diferentes sistemas. Reduciendo así, las restricciones competitivas lo que podría incentivar la innovación en esta industria y la entrada de nuevos competidores.

Dado este status reflejado por los datos obtenidos durante el *web scraping*, se observa que en el entorno internacional existe una preocupación sobre la estandarización del entorno de IoT, con el fin de garantizar: **(i)** interoperabilidad entre los productos, aplicaciones y servicios; **(ii)** economías de escala, donde usuarios, gobierno y desarrolladores sean beneficiados; **(iii)** seguridad y privacidad de los datos y los usuarios; **(iv)** facilitar la transformación digital de la economía; **(v)** interoperabilidad entre los sistemas de comunicación físicos; protocolos de sintaxis, semántica de los datos, y dominio de la información¹⁷⁷.

En el mediano plazo, se esperaría que conforme se desarrolle el mercado de IoT a nivel global, se comiencen a definir líderes del sector —cuyos sistemas, *hardware* y *software* se conviertan medianamente en la norma— permitiendo integrar todos los servicios provistos por los mercados laterales de la plataforma para proveer más servicios de extremo a extremo, aumentando el valor de la plataforma y generando masa crítica en sus redes. Lo anterior, en virtud de los incentivos que generan las economías de redes, muchos servicios podrían integrarse por una demanda creciente de servicios IoT en los términos expuestos en el Capítulo 2 de este estudio. Si bien el tema de estandarización rebasa el alcance de este estudio, en estudios posteriores se debería analizar profundamente las implicaciones de la estandarización en este mercado de múltiples partes.

177 Para mayor detalle, consulte el artículo de Pal, A., Kumar, H., Shailendra, S. y Bhattacharyya (2018), *IoT Standardization: The Road Ahead*. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/internet-of-things-technology-applications-and-standardization/iot-standardization-the-road-ahead>. Los autores reconocen la ausencia de un organismo de estandarización universal que coordine todos los esfuerzos que actualmente realizan organismos internacionales como la Unidad Internacional de Telecomunicaciones, IEEE, Internet Engineering Task Force (IETF), OneM2M, 3GPP, entre otros.

Como resultado de la búsqueda mediante *web scraping*, se identificaron 22 tipos de oferta de servicios IoT disponibles en línea y revisadas a través del código construido para este fin. Si bien estas categorías de servicios no son excluyentes y en muchas ocasiones se presentan de manera conjunta por las empresas exploradas a través de sus páginas web, se puede observar un patrón que ordena las ofertas comerciales por la frecuencia en la que se comercializan por Internet de la siguiente forma: (i) Automotriz; (ii) Agricultura y Pesca; (iii) Automatización de Plantas y Construcción; (iv) Dispositivos de Consumo Conectados; (v) Hogar y Entretenimiento Conectado; (vi) Energía y Servicios Públicos; (vii) Control y Monitoreo Ambiental; (viii) Medicina y Cuidado de la Salud; (ix) Industria Manufacturera; (x) Publicidad y Marketing; (xi) Explotación Minera; (xii) Seguridad Pública y Gobierno; (xiii) Puntos de Venta e Internet; (xiv) Control y Monitoreo Remoto; (xv) Defensa, Seguridad y Control de Acceso; (xvi) Redes Inteligentes de Energía Eléctrica y Ciudades Inteligentes; (xvii) Distribución y Almacenamiento; (xviii) Logística y Transporte; (xix) Otras Aplicaciones; (xx) Seguimiento y Gestión de Activos; (xxi) Telemática y (xxii) Telecomunicaciones.

Figura 18 Frecuencia de ofertas de los servicios IoT disponibles en línea



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping*.

Otras aplicaciones incluye: Paneles solares, Recursos hidráulicos, Explotación de petróleo y gas, Máquinas de juego, Cámaras de velocidad, Rastreo de mascotas, Monitoreo de centros de datos.

En la Figura 18, se muestra que las empresas exploradas ofrecen a través de sus páginas web, 22 tipos de aplicaciones en promedio. Las empresas regularmente se enfocan en comercializar en línea aplicaciones para las actividades de: **(i)** Energía y Servicios Públicos, **(ii)** Medicina y Cuidado de la Salud, **(iii)** Industria manufacturera, **(iv)** Otras Aplicaciones, **(v)** Logística y Transporte, **(vi)** Control y Monitoreo Remoto de Transporte, **(vii)** Seguimiento y Gestión de Activos, y **(viii)** Puntos de Venta e Internet.

Sólo un tercio de las empresas estudiadas dirige sus esfuerzos de comercialización a otros servicios de IoT tales como: **(i)** Explotación Minera, **(ii)** Telecomunicaciones y **(iii)** Publicidad y *Marketing*. A manera de ilustración de este último tipo de aplicaciones para marketing, está el ejemplo de la empresa *Marketo*, una de las primeras empresas que reconoce en los usuarios de las plataformas de IoT como un nuevo tipo de consumidor, que basado en la información disponible en las plataformas IoT busca patrones de consumo para ofrecerles dispositivos, sistemas, desarrollos y aplicaciones, así como esquemas de conectividad de acuerdo a sus necesidades¹⁷⁸.

Los datos de las ofertas comerciales presentadas en la figura 19, muestran consistencia con los proyectos que a nivel global se están implementando (ver Figura 14). De acuerdo con la información analizada previamente, las actividades que tienen una mayor atracción por los servicios de IoT son: **(i)** Equipamiento industrial; **(ii)** Infraestructura civil; **(iii)** Edificios; **(iv)** Personas; **(v)** Vehículos; **(vi)** Recursos naturales, y **(vii)** Ganado y cultivos.

Por otro lado, la información disponible en las páginas de Internet de los proveedores de plataformas IoT a nivel global indican un patrón respecto al tipo de clientes, los cuales se pueden clasificar en 18 categorías¹⁷⁹. Como se ilustra en la Figura 19, pueden ordenarse por frecuencia de aparición en las ofertas comerciales:

178 Para mayor detalle sobre este innovador servicio en el entorno de IoT, por favor diríjase a la siguiente liga electrónica <https://www.marketo.com/> y el artículo especializado <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-things-marketing/>

179 Consultores de Sistemas; Empresas de Administración de Dispositivos; Empresas de Administración de Plataformas de Negocios; Empresas de Desarrollo de Equipos; Empresas de Equipos de Medición; Empresas de Marketing; Empresas que ofrecen sus Servicios Profesionales para el Desarrollo de *Software* y *Hardware*; Otras Empresas; Plataforma de Inteligencia de Negocios y Analítica; Plataformas de Servicio de Entrega y *Software* para Manejo de Dispositivos; Proveedores de Conectividad, Inalámbrica, Línea Fija, Satélite y Operadores Móviles Virtuales; Proveedores de Soluciones M2M de Extremo a Extremo; Proveedores de Soluciones para Servicios M2M; Reguladores, Gobiernos y Organizaciones no Lucrativas; Servicio de Aplicaciones en la Nube (M2M); Servicios de Control y Manejo de Información y Sistemas; Vendedores y Desarrolladores de *Software* para Plataformas de Servicio de Entrega, y Vendedores y Productores de Componentes de *Hardware* (Dispositivos, Módulos y Enlaces).

Figura 19 Frecuencia de ofertas por perfiles y tipo de clientes de plataformas



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping*.

1. Vendedores y desarrolladores de *software* para plataformas de servicio de entrega. Este tipo de clientes buscan visibilidad en sus procesos de entrega, teniendo en tiempo real el status y localización de los repartidores y los objetos entregados en aras de optimizar las operaciones¹⁸⁰.

180 | Un ejemplo de este tipo de clientes lo encuentra en la siguiente dirección: [https://www.bringg.com/platform/mo-
dulos/iot/](https://www.bringg.com/platform/mo-
dulos/iot/)

2. **Vendedores y productores de componentes de *hardware* (dispositivos, módulos y enlaces).** De acuerdo con la información obtenida a través del *web scraping*, Intel es una de las compañías más representativas en este segmento. Sus productos incluyen dispositivos, procesadores, tabletas, chips, redes, etc.¹⁸¹.
3. **Proveedores de Soluciones M2M de Extremo a Extremo.** Una de las empresas que se identificó es Aartsys AG¹⁸², compañía que ofrece un sistema de integración, *software* y desarrollo de sensores y dispositivos.
4. **Empresas que ofrecen sus servicios profesionales para el desarrollo de *software* y *hardware*.** Una de las empresas identificadas en este modelo de negocio es *Eurotech*, compañía que se describe a sí misma como proveedora de servicios profesionales para consumidores empresariales e integradores de sistemas en Norte América, integrando *software* y *hardware*¹⁸³.
5. **Proveedores de conectividad inalámbrica, línea fija, satélite y operadores móviles virtuales.** Para este tipo de servicios, se encuentran empresas tradicionales de telecomunicaciones como Verizon Wireless, Vodafone M2M, Operadores Móviles Virtuales como eDevice dirigidos a segmentos de IoT médicos¹⁸⁴; así como empresas que ofrecen plataformas globales de conectividad para IoT como es el caso de *Wireless Logic*.

En México, Telcel, AT&T y Telefonica ofrecen soluciones empresariales de conectividad para IoT, mientras que el OMV, Neus Mobile ofrece servicios integrados de alto valor entre dispositivos M2M.

Vale la pena detenernos en este tipo de compañías cuyo principal objetivo es integrar la conectividad de tecnologías como SIM local, global y *roaming* conforme a las necesidades de los servicios de IoT.

Para el caso de servicios de conectividad SIM para IoT, las empresas utilizan las redes de telecomunicaciones inalámbricas de diferentes países y distintos operadores. EMnify (otra compañía explorada a través de la ya citada técnica) en su oferta comercial señala brindar soporte para 2G, 3G, 4G/LTE, LTE-M con 540 operadores en 180 países. En el caso de *Wireless Logic*¹⁸⁵, la oferta incluye:

181 Para mayor información sobre la tecnología desarrollada por esta compañía para el Internet de las cosas. Visite: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/homepage.html>

182 Para mayor información, visite la página de la compañía. Disponible en: <https://aartsys.com/en/>

183 Para mayor detalle, visite la página de la compañía. Disponible en: <https://www.eurotech.com/en/section/about-eurotech#mission-and-vision>

184 Para mayor detalle de esta empresa, visite su página corporativa. Disponible en: <https://www.edevice.com/cellular-services>

185 Para mayor detalle sobre esta compañía, visite la página: <https://www.wirelesslogic.com/es/>

- El pronóstico de uso de datos de la aplicación IoT de que se trate, para efectos de seleccionar la red, el servicio y la tarifa adecuada para la aplicación de IoT.
- Monitoreo y control de las redes inalámbricas utilizadas para la aplicación IoT, a través de una plataforma de gestión.
- Conectividad de extremo a extremo donde el *hardware* basado en SIM esté completamente conectado (incluye *routers* móviles, estáticos e industriales).
- Red móvil dedicada exclusivamente a aplicaciones IoT y que integra a 750 redes globales, todas accesibles a través de un SIM (Solución Multi-IMSI) para voz, datos y SMS.
- SIM que permite a los dispositivos conectarse de manera automática a su red exclusiva, derivado de la necesidad de los usuarios empresariales y los desarrolladores de aplicaciones para tener una experiencia más rápida y fluida.
- La tarjeta SIM está diseñada para mantenerse durante toda la vida útil del dispositivo, sensor o actuador, limitar el uso para evitar fraude o uso indebido, cargos por servicio y tiempo de conexión.
- Adaptación del *hardware* de conectividad a las exigencias del negocio (desde entornos industriales muy exigentes, hasta oficinas). En este sentido, se reconoce que conforme el mercado de IoT evolucione, la gestión de la conectividad tendrá un papel más importante
- Sistema de gestión de enrutadores para garantizar la conectividad permanente en las aplicaciones IoT que lo requieran.

6. Proveedores de servicios de control y manejo de información y sistemas. El análisis exploratorio de las páginas electrónicas de las empresas ha permitido constatar que empresas como CISCO han desarrollado centros de control y manejo de información de los sistemas IoT. El servicio se basa en la detección de anomalías en las aplicaciones IoT impulsada por el aprendizaje automático que alerta sobre problemas antes de que generen costos. De igual forma, permite consolidar las redes públicas y privadas en la misma plataforma¹⁸⁶.

186 | Para mayor información sobre este tipo de servicios, por favor dirjase a la siguiente página electrónica: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/iot-jasper-control-center.html#~:capabilities>

7. Servicio de aplicaciones en la Nube. Como se indicó en el Capítulo 2 de este estudio, el cómputo en la nube y IoT tiene una relación complementaria. El IoT genera montos masivos de información y datos, en tanto que la nube provee una ruta para que los datos viajen a su destino. En muchas ocasiones “la nube” se considera un insumo dentro de la plataforma completa de IoT, razón por la cual está verticalmente integrada a la plataforma como es el caso de *GE Predix*, *Amazon Web Services*, *IBM Watson* o *Microsoft Azure IoT Suite*. En otras ocasiones, las empresas se especializan para proveer el servicio de cómputo en la nube a los aplicativos de IoT. Un ejemplo de este último caso lo encontramos durante el proceso exploratorio de la empresa *DXC.technology*¹⁸⁷.

8. Proveedores de soluciones para servicios M2M. Las principales diferencias entre un servicio de IoT y M2M son las siguientes:

Tabla 14	Diferencias entre los servicios M2M y IoT	
	IoT	M2M
	Comprende la automatización de sensores, y las plataformas de Internet.	Comprende la comunicación directa entre máquinas.
	Se basa en comunicación basada en cómputo en la nube.	Se basa en comunicación punto a punto.
	Los dispositivos, sensores y actuadores dependen de una conexión a Internet	Los dispositivos no necesariamente dependen de una conexión a Internet
	Se trata de una arquitectura basada en <i>software</i> y <i>hardware</i>	Se trata de una arquitectura basada principalmente en <i>hardware</i>
	Muchos usuarios pueden acceder al mismo tiempo a través de Internet	Las máquinas regularmente se comunican con una sola máquina a la vez
	La entrega de datos dependen del protocolo de red (IP) de la red	Un dispositivo puede ser conectado a través de un celular móvil u otra red

Fuente: IFT con información de Electronics Foru (2019), *What are the Differences Between M2M and the IoT*. Disponible en: <https://www.electronicsforu.com/resources/learn-electronics/difference-between-m2m-and-iot>.

187 | Para mayor información sobre este tipo de servicios, por favor dirjase a la siguiente página electrónica: <https://www.dxc.technology/industries>

En este sentido, los servicios M2M implican comunicación e intercambio de información entre máquinas, teléfonos inteligentes y electrodomésticos, mientras que IoT es acerca de sensores, sistemas físicos basados en cibernética, Internet, etc. Un ejemplo de este tipo de compañías es *M2M Solution*, la cual utiliza redes móviles para proveer servicios de conectividad en los siguientes sectores: Seguridad en el hogar, administración del consumo de energía, entre otros servicios al hogar¹⁸⁸.

9. **Consultores de sistemas.** Existen compañías de sistemas que ofrecen consultoría enfocada en soluciones para el procesamiento digital de señales (DSP, por sus siglas en inglés) y M2M. No obstante, sus sistemas requerirán infraestructura o plataformas IoT que deben adquirir a las empresas que son especialistas en ello. Por ejemplo, de la exploración a las páginas en línea para la comercialización de este tipo de servicios, se desprenden servicios especializados como en el caso de *Rubico Systems*¹⁸⁹.
10. **Reguladores, gobiernos y organizaciones no lucrativas.** Todos estos actores se caracterizan por haber cambiado en los últimos años su enfoque de gobierno, regulación o participación. Hoy en día, estas organizaciones necesitan acercarse más a sus gobernados, regulados o asociados, aprovechando las ventajas de una industria como IoT para obtener información masiva, procesarla, analizarla y tomar decisiones mejor informadas.
11. **Plataforma de inteligencia de negocios y analítica.** Servicios de analítica e inteligencia de negocios como *Rosslyn Analytics*, es cliente de plataformas de IoT para complementar sus servicios de analítica e inteligencia artificial¹⁹⁰.
12. **Empresas de marketing.** A manera de ilustración de este último tipo de aplicaciones para marketing, está el ejemplo ya citado de la empresa *Marketo*, una de las primeras empresas que reconoce en los usuarios de las plataformas de IoT como un nuevo tipo de consumidor, que basado en la información disponible en las plataformas IoT busca patrones de consumo para ofrecerles dispositivos, sistemas, desarrollos y aplicaciones, así como esquemas de conectividad de acuerdo a sus necesidades¹⁹¹.

188 En caso de requerir más información sobre este tipo de empresas diríjase a la siguiente dirección: <https://partners.telefonica.com/partners-locator/m2m-solution-06612f35-ee38-e411-897d-d89d67642000>

189 Para mayor detalle sobre esta empresa, diríjase a: <http://www.rubico.com/>

190 Para mayor detalle sobre la interacción de las plataformas de IoT y los servicios de inteligencia de negocios, diríjase a: <https://www.rosslyndatatech.com/about-rosslyn/how-we-work/our-platform/>

191 Para mayor detalle sobre este innovador servicio en el entorno de IoT, por favor diríjase a la siguiente liga electrónica: <https://www.marketo.com/> y el artículo especializado: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/internet-things-marketing/>

A manera de resumen y en función de la información obtenida de las páginas de las 530 empresas exploradas, se ha encontrado lo siguiente:

- **Una evidente atomización de las ofertas en línea de las empresas exploradas por el código.** Estas ofertas comerciales están compuestas por las diferentes alternativas de empaquetamiento entre los diferentes mercados laterales disponibles (*v.gr.* conectividad, *software*, *hardware* y otros mercados laterales).
- **Se distinguen 22 tipos de aplicaciones.** Todas ellas concentradas en sectores productivos y de servicios críticos como medicina y cuidado de la salud. En particular, la mayoría de las empresas se enfocan en (i) Energía y Servicios Públicos, (ii) Medicina y Cuidado de la Salud, (iii) Industria Manufacturera, (iv) Otras Aplicaciones, (v) Logística y Transporte, (vi) Control y Monitoreo Remoto de Transporte, (vii) Seguimiento y Gestión de Activos y (viii) Puntos de Venta e Internet. Sólo un tercio de las empresas estudiadas dirige sus esfuerzos de comercialización a otros servicios de IoT tales como: (i) Explotación Minera, (ii) Telecomunicaciones y (iii) Publicidad y *Marketing*.
- **Los tipos de clientes a los que se dirigen las ofertas de los comercializadores de IoT se clasifican en 11 categorías.** Donde destacan por la frecuencia de aparición en las páginas de Internet: Vendedores y desarrolladores de *software*; vendedores y productores de dispositivos, módulos y enlaces; empresas que ofrecen servicios profesionales para el desarrollo de *software* y *hardware*; proveedores de conectividad; proveedores de servicios de control y manejo de información y sistemas, entre otros.

Aunado a lo anterior, con el objetivo de identificar patrones en la distribución y localización geográfica de las empresas de IoT que fueron exploradas, mediante el *web scraping* se logró capturar el vector de caracteres con la dirección de la calle, código postal, ciudad y país, proporcionada por las diferentes compañías. A través de la interfaz de programación de aplicaciones de Google Maps se gestionaron los datos de manera automatizada con la función *Geocode* disponible en lenguaje R, para finalmente obtener las coordenadas de localización de cada empresa en términos de latitud y longitud decimal. Lo anterior, con el fin de poder graficar sus ubicaciones.

Los resultados obtenidos son consistentes; se encontró una concentración similar entre los proyectos de IoT analizados al inicio de este capítulo y las empresas que proveen los servicios a estos proyectos. No obstante, se observa que los proyectos de IoT en países en desarrollo son atendidos en su mayoría por empresas extranjeras.

Las empresas dedicadas al desarrollo de *hardware*, como se puede ver en la figura 20, tienen una distribución global con alta densificación en las regiones de Estados Unidos y Europa. No obstante, se observan algunas empresas en otros países como Japón, India, China y Corea del Sur. Destaca la presencia de algunas empresas en Australia, Canadá, Brasil, Turquía, Sudáfrica, Singapur e Israel.

Figura 20 Localización de las empresas que ofrecen servicios de *hardware* para IoT



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping* y Geocode en lenguaje R.

La figura 21 muestra la distribución de las empresas que ofertan en línea servicios de conectividad para IoT. Como se puede ver, la gran mayoría se encuentran en Estados Unidos, Reino Unido, la Unión Europea e India, con una baja concentración en China, Singapur, Corea del Sur y Australia.

Figura 21 Localización de las empresas que ofrecen servicios de conectividad para IoT



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping* y Geocode en lenguaje R.

En cuanto a las empresas dedicadas al desarrollo de *software*, como se puede ver en la figura 22, la distribución con respecto a las empresas que ofrecen conectividad y *hardware* son muy similares. No obstante, se observa una densificación de las empresas en las regiones de Estados Unidos y Europa, así como algunos países adicionales como Brasil, Turquía y Japón.

Figura 22 Localización de las empresas que ofrecen servicios de *software* para IoT



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping* y Geocode en lenguaje R.

La distribución de las empresas que ofrecen servicios para IoT de otros mercados laterales presenta diferencias sutiles. Destacan países que no aparecen en los mapas de *hardware*, conectividad y *software*, tales como Argentina, Rusia, Israel y Sudáfrica (ver Figura 23).

Figura 23 Localización de las empresas que ofrecen servicios de otros mercados laterales para IoT



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping* y Geocode en lenguaje R.

Finalmente, se presenta el mapa que considera las empresas que ofrecen servicios IoT de extremo a extremo. Destacan países como Estados Unidos, India, Canadá, Holanda, Reino Unido, Polonia, España y Francia (ver Figura 24).

Figura 24 Localización de las empresas que ofrecen servicios de extremo a extremo para IoT



◀ Fuente: IFT con base en los datos obtenidos a través de la técnica de *web scraping* y Geocode en lenguaje R.



RESUMEN Y CONSIDERACIONES FINALES

El Internet de las Cosas, más que un concepto abstracto, se puede entender como un ecosistema que integra sensores, dispositivos o “cosas” conectadas a través de Internet con el objetivo de proporcionar servicios avanzados como automatización, monitoreo a distancia, mantenimiento preventivo, *software*, conectividad, servicios, datos, etc. El IoT implica el desarrollo de una arquitectura, un arreglo de muchas tecnologías para generar un valor común para todos los tipos de consumidores que están alrededor de su arquitectura.

Las condiciones tecnológicas para el desarrollo del IoT evolucionan positivamente, considerando que los dispositivos son cada vez menos costosos y están integrados; es decir, contienen un chip, sensores y actuadores que permiten cada vez más autonomía mediante sistemas de gestión eficiente de energía. En este sentido, las características de los dispositivos IoT cambian de acuerdo a las necesidades específicas de las soluciones de IoT y del propio avance tecnológico; en el Capítulo 1, se identifican algunas de estas características generales como: **(i)** Una fuente de alimentación continua; **(ii)** Baja complejidad en los dispositivos; **(iii)** Baja latencia; **(iv)** Sistemas de respaldo robustos, confiables y estables; **(v)** Bajo consumo de energía y **(vi)** Compatibilidad con diferentes tecnologías de conexión.

La estructura del IoT parte de las interacciones y de su necesidad de integrar la cadena de valor, en este sentido, se identifican 6 capas que integran la cadena de valor: **(i)** Capa física; **(ii)** Capa de comunicación de red; **(iii)** Capa de procesamiento; **(iv)** Capa de almacenamiento; **(v)** Capa de abstracción y **(vi)** Capa de servicio, aplicación, colaboración y procesamiento. Todas las capas se relacionan unas con otras y son elementos indispensables para lograr el aprovechamiento de la tecnología IoT:



La comunicación de red se entiende entonces como un eslabón esencial en la cadena de valor. En este sentido, la disponibilidad de redes óptimas para conectar los dispositivos se vuelve un requisito necesario para la evolución del IoT. Las prácticas internacionales revisadas han reconocido el papel de la banda para IoT (NB-IoT) y del LTE-M en el corto plazo y la tecnología 5G en el mediano plazo como factores relevantes para el desarrollo de lo que se considera el factor de cambio en la cuarta revolución industrial.

Los planes internacionales para el desarrollo del IoT de Tailandia, China, Comunidad Europea, Reino Unido y Estados Unidos, reconocen la relevancia en el desarrollo de infraestructura de redes móviles, particularmente del NB-IoT. México también ha dado pasos importantes en este sentido, en los elementos a incluirse en el Programa Nacional de Espectro Radioeléctrico 2019-2024, el IFT ha propuesto incrementar la disponibilidad de espectro radioeléctrico para las IMT para el desarrollo de radio-comunicaciones de banda ancha, en donde pudieran operar diversas aplicaciones, incluyendo aplicaciones de IoT e Inteligencia Artificial. Respecto a las bandas de frecuencia clasificadas como espectro libre, el IFT define un área de oportunidad en el corto, mediano y largo plazo para la clasificación de espectro radioeléctrico adicional en bandas de frecuencia que sean viables para su uso como espectro libre.

Como resultado de esta integración tecnológica de servicios, la línea que divide cada una de las capas se difumina debido a que los proveedores de plataformas IoT son organizaciones que ofrecen servicios que pertenecen a una o más capas del entorno IoT. Por ejemplo, existen proveedores que ofrecen soluciones IoT de extremo a extremo (*v.gr.* todas las capas) a través de un amplio desarrollo de entornos, así como aquellos enfocados exclusivamente en el desarrollo de *hardware* o de *software*.

Se observa que la industria de IoT se encuentra en una fase de expansión con una intensa competencia por definir la tecnología dominante basada en servicios integrados en todos los eslabones de la cadena de valor del IoT (*v.gr.* AWS Amazon con su capacidad de almacenamiento en la nube, análisis de datos y dispositivos conectados; Operadores Móviles y su capacidad instalada para ofrecer servicios de conectividad). El IoT es versátil en la medida que cuenta con la capacidad de adaptarse y estructurarse de acuerdo al tipo de solución que se requiere entre las que destaca el control y gestión de dispositivos, redes inteligentes de energía eléctrica, cuidado de la salud; bienes de consumo; industria y manufactura inteligente; ciudades inteligentes; usos para el sector público; gestión de transporte; seguridad pública, entre otros.

Sin embargo, para que una solución IoT sea rentable debe crecer el número de dispositivos que conforma su red, lo que eventualmente podría llevar a la adopción de una tecnología en particular, fenómeno conocido como *winner takes all*. Sin embargo, esto no significa que no exista competencia, por el contrario, la experiencia en adopción tecnológica dicta que la competencia en el entorno del IoT será intensa hasta que una compañía logre establecer su tecnología como dominante.

La diversidad de productos complementarios y sustitutos, la compatibilidad, la interconexión, la interoperabilidad y la estandarización de la calidad de los productos y servicios juegan un papel relevante para el crecimiento de la red. Desde esta perspectiva teórica, la industria de IoT tiene una naturaleza altamente fragmentada donde existen múltiples plataformas que intentan convertirse en la plataforma estándar a través de sus ofertas. Del mismo modo, los protocolos de conexión y lenguajes de *software* tampoco están estandarizados, esto debido a que la industria se encuentra en una etapa de formación y no se identifica a alguna plataforma única de IoT para desempeñar el papel de núcleo del ecosistema, ni un conjunto único de protocolos e interfaces estándar.

La existencia de mercados de productos diferenciados, pero que por su naturaleza se complementan y se relacionan para formar bienes compuestos, origina empresas que integran esos bienes o servicios en los llamados paquetes o plataformas. Es en este sentido que el modelo de negocio del IoT no es lineal y se conceptualiza más como un mercado de múltiples lados, donde los principales mercados laterales a la plataforma son: **(i)** Los usuarios que requieren soluciones específicas de IoT; **(ii)** Los proveedores de sensores, actuadores y dispositivos; **(iii)** Los proveedores de conectividad y **(iv)** Los desarrolladores de aplicaciones.

La plataforma de IoT permite que en lugar de crear aplicaciones alrededor de dispositivos específicos, los datos de todos los sensores puedan obtenerse en una plataforma central, una arquitectura que se enfoca en ofrecer datos a todos los mercados laterales y proveer soporte para las aplicaciones que deriven de los datos en un entorno de integración que atraerá a otros usuarios generando un efecto de retroalimentación positiva que aumenta el número de usuarios.

Por su parte, la evidencia empírica confirma que la industria IoT se encuentra en una etapa de formación donde existe una atomización de las ofertas donde se distinguen 22 tipos de ofertas de servicio, concentradas principalmente en sectores productivos y de servicios críticos. Se identifica también que existe una preferencia por los proyectos con volúmenes pequeños de dispositivos (menos de 100 dispositivos) que representan el 60% de los proyectos globales. Sin embargo, no se identifica una tecnología de conexión universal, revelando una fase de adopción de lanzamiento cuya evolución se espera que, para tamaños inferiores a la masa crítica, los potenciales usuarios no estarán interesados en incorporarse a la tecnología en particular, e incluso los usuarios que ya se han incorporado tenderán a abandonar aquellas que no tengan una adopción considerable derivado de las externalidades de red. Los proyectos relativamente grandes (más de 10,000 dispositivos conectados) participan con el 3.6% del total de proyectos analizados y presentan una asociación intensa y positiva con las tecnologías de conexión de largo alcance y baja potencia (LPWA).

A medida que se incremente el número de dispositivos, soluciones, plataformas y disponibilidad de redes se alcanzará una base de consumidores suficientemente grande o masa crítica, por lo que el mercado se construirá a sí mismo en forma dinámica, entrando en un “círculo virtuoso”, también denominado mecanismo de auto reforzamiento y retroalimentación positiva, lo que generará economías de escala y de alcance.

Las actividades con mayor atracción por los proyectos de gran escala —en términos de dispositivos conectados— se caracterizan por tener un alto impacto social al concentrarse en gestión de recursos naturales y obras de infraestructura civil. El IoT constituye un facilitador de la transformación digital de la economía y un motor para la creación de empleo, crecimiento económico, sostenibilidad y la mejora de la calidad de vida, en este sentido se considera relevante para el IFT promover el acceso a conectividad para este tipo de proyectos tomando en cuenta las características técnicas de las diferentes redes:

-  Para el caso de las obras de infraestructura civil, las tecnologías que requerirían soporte en términos de facilitar su asignación son las redes celulares (5G) y las redes de largo alcance, baja potencia (LPWA). Así como aquellas redes LPWA que dependen de la red celular (LTE-M y NB-IoT).
-  Para el caso del medio ambiente, las tecnologías con mayor atracción para los proyectos IoT son de largo alcance, baja potencia (LPWA) y redes fijas, como la fibra óptica.
-  Es importante destacar que los proyectos IoT aplicados para vehículos (monitoreo, mantenimiento predictivo, etc.) traen consigo escalas de conectividad de entre 100 y 499 dispositivos, y que este tipo de proyectos registra como tecnología preferida a la satelital.
-  Las redes 5G presentarán una gran flexibilidad en cuanto a ubicación, movimiento y número de dispositivos remotos que se podrán controlar, lo que las hace ideales para aplicaciones donde el desempeño de las redes de tiempo real es crítico y para el despliegue masivo de servicios IoT.

- Otro tipo de experiencias de carácter social que podrían ser promovidos a través de facilidades de adopción se refiere a los proyectos de salud donde los hospitales públicos podrían adoptar aplicaciones de control y gestión de los recursos médicos, así como monitoreo en tiempo real de los pacientes con enfermedades crónicas (hasta hace algunos años no era viable tener un monitoreo personal fuera del hospital). Hoy en día, la información obtenida puede transformar el cuidado de la salud mediante tratamientos personalizados.

En virtud de los resultados de este estudio, se identifican algunas acciones que el IFT podría implementar para contribuir en el desarrollo de la industria IoT:

- **La estandarización e interoperabilidad sobre IoT es un tema de prioridad global sobre la que el Instituto podría tener una participación activa.** Particularmente en grupos de trabajo como la Iniciativa Mundial de Normalización sobre Internet de las Cosas (IoT-GSI) organizado por la UIT. En virtud de que la complementariedad se establece a través de estándares técnicos adoptados por la industria, garantizando la interoperabilidad de los diversos sensores y dispositivos que conforman el ecosistema IoT, y derivado de sus características de red, se esperaría que la estandarización genere externalidades positivas para los agentes del mercado, en la producción, comercialización, distribución y consumo de los bienes finales.
- **Las debilidades, en términos de seguridad, pueden permitir el control malicioso de los dispositivos conectados al IoT y el manejo poco ético de los datos.** Con muchos más puntos finales conectados con las redes actuales e integradores que buscan obtener información del sensor de una amplia gama de proveedores, las oportunidades potenciales para *hackear* dentro de las redes de IoT crecen. En los dos últimos años, se han identificado casos de infraestructura “inteligente” con vulnerabilidades cibernéticas expuestas. Por ejemplo, el sistema de control de semáforos e informes de las principales partes del suministro de electricidad para Ucrania¹⁹². Se reconoce en general que la industria de IoT depende de los servicios de comunicaciones, de la confiabilidad y seguridad continua de las redes a través de las cuales se proporcionan esos servicios. Si bien, no es un resultado directo de este estudio, la seguridad en los dispositivos es un tema relevante, donde el IFT podría coadyuvar.

192 Para mayor detalle respecto a las vulnerabilidades encontradas en la red de semáforos de Ucrania, por favor visite: <https://www.usenix.org/system/files/conference/woot14/woot14-ghena.pdf>

- **En virtud de los beneficios sociales provenientes de la innovación y de la necesidad de contar con espectro de uso experimental** de manera expedita a través de la elaboración de un marco normativo para habilitar *sandbox* regulatorios, que acompañen los proyectos en zonas geográficas específicas que permitan al beneficiario realizar y supervisar experimentos, el IFT podría poner en práctica programas como el de “Zonas de Innovación”, que implementó la FCC para el licenciamiento experimental.

El objetivo de este ejercicio es proporcionar un esquema simplificado que permita obtener espectro radioeléctrico para la exploración experimental de nuevos dispositivos inalámbricos robustos, técnicas de comunicación, redes, sistemas y servicios a fin de que el ecosistema inalámbrico de EE.UU. atienda las necesidades de los nuevos dispositivos, mejorando la conectividad de banda ancha, aprovechando el IoT emergente y manteniendo el liderazgo productivo en las próximas décadas.

Las Zonas de Innovación pueden ser creadas a solicitud de parte o por iniciativa de la autoridad, donde se especifica el área geográfica autorizada, los parámetros de potencia permitidos, las bandas de frecuencia (fija y/o móvil), plazo de autorización, y demás parámetros técnicos. Estas características se publican en la página del regulador con los detalles de la zona incluyendo el plazo que en algunos casos puede ser de hasta 5 años¹⁹³.

- **En materia de estandarización se ha creado un marco normativo global con dispositivos heterogéneos** (v.gr. muchos dispositivos, sensores y actuadores han sido desplegados con protocolos propios) y tecnologías que requieren interoperabilidad entre todos los elementos que conforman el ecosistema IoT (productos, servicios, aplicaciones, redes, entre otros).

No sólo el *hardware* relacionado con IoT requiere estandarización, también se puede ver heterogeneidad en los desarrollos de *software*. Se requiere, en este sentido, sistemas compatibles que garanticen un ambiente uniforme que facilite la migración entre sistemas.

193 | Para mayor detalle de estas zonas de innovación, diríjase a la siguiente liga: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-19-923A1.pdf>

En este sentido, el IFT podría participar en el seguimiento puntual a esos estándares, valorar su impacto en las redes de telecomunicaciones del país y difundir sus resultados a efectos de garantizar la interoperabilidad que requieren las aplicaciones de IoT y evitar barreras a la entrada para otros proveedores o participantes en los mercados laterales de la plataforma de IoT. Lo anterior, no es una tarea sencilla, el desarrollo de IoT tiene un impacto en otros sectores, por lo que se espera que eventualmente el IFT coadyuve con otras autoridades (*v.gr.* salud, energía, hidrocarburos, transporte, agua, protección civil, seguridad, etc.) con el objeto de facilitar y fomentar el desarrollo de la industria de IoT en México.






GLOSARIO DE TECNOLOGÍAS

Bluetooth: Es una tecnología inalámbrica de baja potencia con una radiofrecuencia de corto alcance en la banda de 2.4 GHz, permite crear áreas de red personales y soporta una velocidad de envío de información de 1 Mbps¹⁹⁴.

Conectividad celular: Se refiere a las tecnologías 3GPP (*Third-Generation Partnership Project*) en las que se incluyen entre otras GSM, W-CDMA, LTE y 5G. Estas redes de área extensa (WAN, por sus siglas en inglés) se utilizan principalmente para servicios de voz y datos de alta calidad¹⁹⁵.

Extremo a extremo (*End to end*): Se refiere a proveedores que participan en un proyecto de principio a fin y proporcionan todo lo necesario para crear una solución, incluyendo *hardware*, *software*, mano de obra, materiales y procedimientos. Estas soluciones eliminan procesos intermedios o pasos, lo que ayuda a optimizar el rendimiento y la eficiencia de un negocio¹⁹⁶. Abarcando una definición más amplia para IoT y para efectos de este estudio, se considera a los proveedores de extremo a extremo a aquellas empresas que ofrecen soluciones IoT que incluyen *hardware*, *software*, instalación, aplicaciones, plataformas y conectividad¹⁹⁷.

194 Tabbane, S. (2019), *IoT systems overview*. Página (29). Disponible: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-/IoT%20systems%20overview.pdf>

195 Mahmoud, M. y Mohamad, A. (2016), *A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications*. Página (23). Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/a7d9/7b5a2c157365f1a7c0bdad93d35b7e2871f3.pdf?_ga=2.168354725.502804314.1576536264-813032004.1576536264

196 Investopedia (2019), *End-to-End Definition*. Disponible en: <https://www.investopedia.com/terms/e/end-to-end.asp>

197 Internet of Things Directory (2019), *Internet of Things Directory*. Disponible en: <https://www.iot-directory.com/>

EnOcean: Esta tecnología de ultra baja potencia utiliza convertidores de poder miniaturizados, se alimentan mediante presión en interruptores o celdas fotovoltaicas, que resultan suficientes para que los módulos transmitan información inalámbrica y sin batería. Utilizan la frecuencia 868 MHz en Europa y la de 315 MHz en Estados Unidos¹⁹⁸.

GSM (*Global system for mobile communication*): Se trata de un estándar para la comunicación digital celular (2G)¹⁹⁹.

LoRa (*Long Range*): Se trata de una especificación para redes de baja potencia y área amplia o extensa (LPWAN, por sus siglas en inglés), provee de una interacción confiable bidireccional M2M con un rango de comunicación de entre 5 km y 15 km en ciudades densamente pobladas con una velocidad de 50 Kbps²⁰⁰, transforma las señales físicas a una forma adecuada de transmisión y LoRaWAN es un protocolo de red abierto que asegura la comunicación de ambos lados.

Low-Power Wide-Area (LPWA): Se refiere a un grupo de tecnologías de área amplia y baja potencia que cuentan con las siguientes características: vida de batería de más de 10 años, conectividad en áreas extensas, bajo costo de chips y redes y limitada capacidad en comunicación de información²⁰¹.

Long Term Evolution (LTE): Se refiere al estándar para la banda ancha inalámbrica o para las tecnologías de redes móviles, comercialmente conocidas como 4G²⁰².

Mediano alcance (*Medium range*): Se refiere a las tecnologías de acceso para IoT cuya emisión de radio frecuencia máxima es alrededor de 1 km entre dos dispositivos²⁰³.

198 Tabbane, S. (2019), *IoT systems overview*. Página (82). Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-/IoT%20systems%20overview.pdf>

199 Jahankhani, H. y Yousef, S. (2014), *Evolution of TETRA through the integration with a number of communication platforms to support public protection and disaster relief (PPDR)*. En *Cyber Crime and Cyber Terrorism Investigator's Handbook*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128007433000190>

200 Flespi (2017), *Top 7 technologies for IoT connectivity 2017*. Disponible en: <https://flespi.com/blog/top-7-technologies-for-iot-connectivity-2017>

201 Mahmoud, M. y Mohamad, A. (2016), *A Study of Efficient Power Consumption Wireless Communication Techniques/ Modules for Internet of Things (IoT) Applications*. Página (24). Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/a7d9/7b5a2c157365f1a7c0bdad93d35b7e2871f3.pdf?_ga=2.168354725.502804314.1576536264-813032004.1576536264

202 Technopedia (2017), *Long Term Evolution (LTE)*. Disponible en: <https://www.techopedia.com/definition/8149/long-term-evolution-lte>

203 Hanes, D. et al (2017), *IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things*. Página (97). Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=PCcmDwAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Nb-Fi: Es una tecnología LPWAN que está diseñada para la comunicación de baja potencia, área amplia, y comunicación máquina a máquina. Este protocolo inalámbrico abierto, ha sido diseñado para permitir que la comunicación del sensor sea más robusta, confiable y energéticamente eficiente, con el uso del enfoque de banda angosta²⁰⁴.

NB-IoT: Es una tecnología de acceso de radio celular basado en LTE, introducida por el *Third-Generation Partnership Project* (3GPP), para redes LPWAN. Su objetivo principal es admitir la comunicación masiva de tipo máquina y habilitar la comunicación de baja potencia, bajo costo, y de baja velocidad de datos²⁰⁵.

Corto alcance (*Short Range*): En este segmento se encuentran dispositivos conectados por radio sin licencia con un alcance de hasta alrededor de 100 metros, como Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee. Esta categoría también incluye dispositivos conectados a través de conexiones de área local de línea telefónica fija²⁰⁶.

Satélite: Se refiere a la conexión por vía satélite geoestacionarios en las bandas C, Ku y Ka para conectividad directa o *backhaul*, hasta la implementación de nuevas constelaciones LEO (órbita terrestre baja, por sus siglas en inglés) o HEO (órbita altamente elíptica, por sus siglas en inglés), optimizadas para el mercado IoT²⁰⁷. Este tipo de conexiones de dispositivos IoT individuales a través de satélites tiene un alto costo de módulos y alto consumo de energía y, como se comprobó a lo largo del documento este tipo de tecnología es la que más se utiliza para servicios de conectividad en el sector automotriz ²⁰⁸.

- 204 Energy Trading Investments (2019), *What is NB-Fi Protocol*. Disponible en: <http://etidoo.com/iot/nb-fi-protocol/>
- 205 MDPI, Sensors (2019), *Narrowband Internet of Things (NB-IoT): From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives*. Página (1). Disponible en: https://res.mdpi.com/d_attachment/sensors/sensors-19-02613/article_deploy/sensors-19-02613.pdf?bcsi_scan_95c8aec8c177a0e8=1
- 206 Ericsson (2017), *Ericsson Mobility Report*. Página (14). Disponible en: <https://www.ericsson.com/49de7e/assets/local/mobility-report/documents/2017/ericsson-mobility-report-november-2017.pdf>
- 207 Fraunhofer IIS (2019), *Internet of things (IoT) via Satellite*. Disponible en: https://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/kom/satkom/satellite_iot.html
- 208 iotUK (2017), *Satellite technologies for IoT Applications*. Página (2). Disponible en: <https://iotuk.org.uk/wp-content/uploads/2017/04/Satellite-Applications.pdf>

Sigfox: Esta tecnología garantiza una transmisión de enlace de subida de bajo ancho de banda de hasta 300 bps y un enlace de bajada por 12 bytes por día. Básicamente, Sigfox se puede usar de manera efectiva solo para recopilar datos del sensor, pero no puede enviar ningún comando a los sensores. El bajo ancho de banda contribuye en gran medida a la reducción del consumo de energía: un dispositivo final puede funcionar hasta 10 años con una sola batería AA. La señal puede recorrer la distancia de hasta 50 km en el área rural y hasta 10 km en las grandes ciudades²⁰⁹.

Weightless: Pertenece a las tecnologías LPWAN de estándar abierto. Garantiza la comunicación bidireccional a velocidades de hasta 100 Kbps tanto para el enlace de subida como de bajada a una distancia de hasta 2 km en un entorno urbano. El consumo de energía extremadamente bajo, en estado inactivo ayuda a lograr una vida útil de la batería de 10 años²¹⁰.

Wi-Fi: Tecnología inalámbrica, alternativa a las tecnologías fijas. Tiene como estándar el IEEE 802.11, se cuentan 5 tipos diferentes conexiones, con velocidades desde 11 Mbps hasta 405 Mbps y rangos de acción desde los 10 m hasta 1 km²¹¹.

WIMAX: Es un estándar en desuso de transmisión inalámbrica de datos, permiten conexiones de velocidades similares al ADSL o el cable módem. Su costo de instalación es relativamente bajo, con un alcance de hasta 50 km, su velocidad de transmisión puede alcanzar los 75 Mbps, disponible para voz como para video y cuenta con tecnología IP de extremo a extremo. Además, dependiendo del ancho de banda del canal utilizado, una estación base puede soportar miles de usuarios, más que las tecnologías WLAN²¹²

Wireline: Se refiere a las conexiones mediante una conexión fija. Entre los que se incluyen DSL, Ethernet, cable módem y PSTN²¹³. Estas conexiones pueden ofrecer un ancho de banda mayor pero tienen poca movilidad y el costo de conectividad es alto²¹⁴.

209 Flespi (2017), *Top 7 technologies for IoT connectivity 2017*. Disponible en: <https://flespi.com/blog/top-7-technologies-for-iot-connectivity-2017>

210 Flespi (2017), *Top 7 technologies for IoT connectivity 2017*. Disponible en: <https://flespi.com/blog/top-7-technologies-for-iot-connectivity-2017>

211 Tabbane, S. (2019), *IoT systems overview*. Página (36). Disponible: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-/IoT%20systems%20overview.pdf>

212 Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2006). *WiMAX. Equipamiento Tecnológico-Redes*. Disponible en: <http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/en/equipamiento-tecnologico/redes/349-andres-lamelas-torrijos>

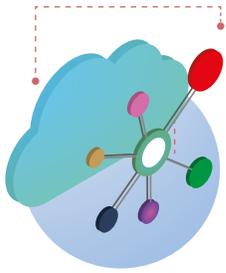
213 i-scoop (2019), *Industrial Internet of Things: IIoT communication and connectivity technology 2017*. Disponible en: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/iiot-connectivity-connections/>

214 Hassan, Q., Rehman, A., y Madani, S. (2018), *Internet of Things. Challenges, Advances and Applications*. Página (339).

ZigBee: Es una tecnología que permite el control y tener una red de sensores inalámbricos, esto bajo el estándar IEEE 802.15.4²¹⁵. Tiene bajos niveles de consumo de energía y bajas tasas de transferencia de datos, se pueden conectar hasta 65,000 nodos a una red²¹⁶.

Z-Wave: Es un protocolo de radio de baja potencia, se utiliza en automatización del hogar (luces, calefacción, etc.), de bajo rendimiento en información, con un rango de 9 a 40 Kbps, con un rango de operación de aproximadamente 50 metros, utiliza la frecuencia de 868 MHz en Europa y 908 MHz en Estados Unidos²¹⁷.

- 215 El IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (*low-rate wireless personal area network*, LR-WPAN).
- 216 Tabbane, S. (2019), *IoT systems overview*. Página (33). Disponible: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-/IoT%20systems%20overview.pdf>
- 217 Tabbane, S. (2019), *IoT systems overview*. Página (84). Disponible: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/AsiaPacific/SiteAssets/Pages/Events/2019/ITU-ASP-CoE-Training-on-/IoT%20systems%20overview.pdf>



ANEXO A

METODOLOGÍA DE *WEB SCRAPING*

Entre los principales usos del *web scraping* se encuentra la extracción de información para contenido, investigación, comparación de precios, monitoreo de información y cambios en la detección de sitios *web*²¹⁸, esta técnica ofrece amplias oportunidades para idear nuevas formas de obtener, analizar y visualizar la información²¹⁹ y es muy útil para el análisis económico²²⁰.

Las autoridades a nivel mundial utilizan estas técnicas para efectos de supervisar el cumplimiento de regulaciones en páginas web. Por ejemplo, la Agencia Ejecutiva de Consumidores de Salud, Agricultura y Alimentos de la Comunidad Europea realizó un ejercicio de *web scraping*, donde se consultaron 19,580 sitios de comercializadores en línea para determinar si se cumplía con una determinación de la comunidad europea que obligaba a estos sitios a tener una liga electrónica para la resolución de disputas online con sus clientes y un correo electrónico para el mismo fin²²¹.

En este sentido, entre las ventajas de utilizar esta herramienta en el análisis de datos se encuentran proveer una gran cantidad de información para el análisis; elección de una gran variedad de fuentes en línea para la extracción de datos; disponibilidad de información, disponibilidad de un buen precio, entre otros²²².

218 Radware (2017), *When the bots come marching in: A closer look at the evolving threat from Botnets, Web Scraping and IoT Zombies*. Página (9). Disponible en: <https://www.radware.com/iot-botnet/>

219 Marres, N. y Weltevrede, E. (2013) *Scraping the Social? Issues in live social research*. Journal of Cultural Economy, 6(3). Página (2). Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17530350.2013.772070>

220 Edelman, B. (2012). *Using Internet Data for Economic Research*. The Journal of Economic Perspectives, Vol. 26, No.2. Página (189). Disponible en: <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.26.2.189>

221 Comunidad Europea (diciembre de 2017), *Online Dispute Resolution: Web-Scraping of EU Traders' Websites*. Disponible en: http://www.cec-msssi.es/CEC/docs/documentos/noticias/odr-web scraping-study_dec2017_en.pdf

222 Milev, P. (2017). *Conceptual approach for development of web scraping application for tracking information*. Economic Alternatives, Issue 3. Páginas (482-483). Disponible en: https://www.unwe.bg/uploads/Alternatives/10_Alt_english_br_3_2017.pdf

Para su ejecución son necesario ciertos niveles de conocimiento, habilidades y competencias; aunado al tiempo requerido para la extracción de la información, la creación de un gran volumen de archivos de información, la veracidad de la información, la existencia de diferentes estructuras para distintas fuentes y la complejidad de utilizarlo²²³.

La recolección de información para los reguladores y las empresas suele ser costosa en términos de recursos humanos, materiales y tiempo, es por esta razón que el uso de herramientas novedosas como el *web scraping* permiten automatizar la obtención de información. Para aprovechar las ventajas de esta técnica, para este ejercicio se desarrolló un algoritmo en lenguaje *Python (Versión 3.7.4)* donde se definió el alcance de la consulta para obtener información básica sobre cómo se comercializan los servicios IoT. Los pasos a seguir fueron esencialmente los siguientes:

1. Definición del tipo de sitios de Internet susceptibles de ser analizados con la herramienta de *web scraping*;
2. Diseño, desarrollo, prueba e implementación del algoritmo de *web scraping*;
3. Inicio del proceso de extracción de datos, mediante la plena identificación del algoritmo y su desarrollador, el objetivo del mismo y garantizando el respeto a las reglas de acceso a cada sitio web;
4. Obtención y almacenamiento de la información extraída en una base de datos temporal mientras se realiza el *web scraping*;
5. Procesamiento de la información obtenida a fin de que se construya una base de datos estructurada y susceptible de análisis, y
6. Generación de una base de datos en formato “.csv” para aplicar técnicas de análisis exploratorio de datos y buscar patrones que permitan responder las preguntas de investigación planteadas previamente²²⁴.

223 Milev, P. (2017). *Conceptual approach for development of web scraping application for tracking information*. *Economic Alternatives*, Issue 3. Páginas (482-483). Disponible en: https://www.unwe.bg/uploads/Alternatives/10_Alt_english_br_3_2017.pdf

224 Milev, P. (2017). *Conceptual approach for development of web scraping application for tracking information*. *Economic Alternatives*, Issue 3. Páginas (480-481). Disponible en: https://www.unwe.bg/uploads/Alternatives/10_Alt_english_br_3_2017.pdf

Durante este proceso, la Dirección General Adjunta de Prospectiva y Análisis de Impacto Económico desarrolló capacidades técnicas y obtuvo autorización por parte de la Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicaciones para poder realizar múltiples consultas al mismo tiempo en Internet, cuidando la integridad de los sistemas informáticos del Instituto.

Es importante señalar que existe una gran cantidad de información en línea de fácil acceso, que no requiere un permiso especial para obtener la información de manera automatizada, únicamente se requiere seguir las reglas de consulta del sitio, incluyendo los *plugins* de seguridad que evitan o previenen peticiones maliciosas de información o consultas masivas²²⁵. A continuación, se describen algunas reglas y advertencias de uso común que envían señales a los sitios consultados sobre las buenas intenciones durante la consulta automatizada. Algunas de esas reglas son:

-  Respetar las guías que indican cómo hacer el *scraping*. Generalmente estas reglas se encuentran en la página a consultar en un archivo denominado *robots.txt*. Establecer que el código de búsqueda obedezca estas reglas es una señal de buen comportamiento, respetando los límites de lo que se puede rastrear (*crawling*, en inglés).
-  Evitar consultas muy frecuentes a las mismas páginas. En estricto sentido, cualquier servidor web se hará más lento o se bloqueará si la carga de consultas excede un cierto límite. Por ello, el *web scraping* debe realizarse en intervalos de tiempo razonables para mantener las solicitudes de información paralelas bajo control. Por lo regular, un sitio web bien diseñado debe tener un límite de rastreo establecido en el archivo *robots.txt*. El retraso estándar es de 10 segundos entre solicitudes, lo que evitará incluso que el código sea bloqueado.
-  Facilitar la identificación del usuario, con el objeto de saber al sitio consultado quién lo visita y si el usuario es confiable o no; para este caso se utilizó como identificador el dominio de la página del IFT, *robot www.ift.org.mx*. Los sitios bien diseñados no desean bloquear a usuarios genuinos, por lo que esta información acerca a nuestro código a un usuario genuino, incluso el nombre del robot confirma al sitio consultado que se trata de un código programado por el IFT.

225 | Edelman, B. (2012). *Using Internet Data for Economic Research*. The Journal of Economic Perspectives, Vol. 26, No.2. Página (190). Disponible en: <https://pubs.aeaweb.org/doi/pdfplus/10.1257/jep.26.2.189>

- El código se activó durante las menores horas de actividad para evitar que los sitios y, por ende, las consultas, se hicieran más lentas, mejorando el tiempo de respuesta del robot.
- Utilizar los datos obtenidos de manera responsable es un compromiso y una buena práctica en este tipo de técnicas. En este sentido, en las especificaciones (*settings.py*) del código se estableció que los datos per se no se publicarían en otra página y que el objetivo del ejercicio era realizar un análisis estadístico de los datos obtenidos.
- Finalmente, el proceso ante los sitios web fue transparente y jamás se escondieron las credenciales y propósito del código, tal y como se puede observar en el Anexo B del presente estudio donde se proporciona copia de los ajustes establecidos para el código en el archivo *settings.py*.

En la literatura internacional, se pueden encontrar casos aplicados de interés respecto a la herramienta de *web scraping*.

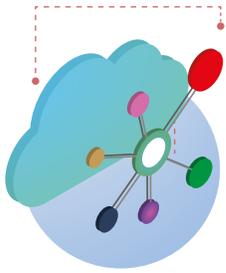
Ejemplos de aplicación de *web scraping* (monitoreo de la calidad del aire)

El reporte *Air Quality Monitoring with IoT Big Data* de GSMA²²⁶ documenta las experiencias y las técnicas comunes para el análisis de datos desde la experiencia y el desarrollo de los servicios de analítica en calidad del aire basados en los proyectos en conjunto del *Royal Borough of Greenwich* en Reino Unido y del *FarEasTone Telecommunications* (FET) en Taiwán. En este caso en particular, se reconoce que ante la ausencia de APIs, la mejor alternativa para la sistematización de información es el *web scraping*.

El estudio *Information Extraction Methodology by Web Scraping for Smart Cities*²²⁷ presenta un sistema de sensación oportunista para el monitoreo de la calidad del aire para predecir los factores implícitos de la contaminación del aire. Las fuentes de información para el análisis de la calidad del aire combinan dos tipos: información explícita e implícita. El objetivo del documento es desarrollar una metodología de extracción de información mediante *web scraping* para ciudades inteligentes. La aplicación de esta metodología tiene el potencial de resolver los problemas como la contaminación del aire mediante comparación de información entre las actividades sociales observadas y la recolección de información por la red de sensores.

226 | GSMA (2018), *Air Quality Monitoring with IoT Big Data. A Technical Guide for Data Processing and Analytics*. Páginas (3-4). Disponible en: https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2018/08/Air-Quality-Monitoring-Report-IoT-Big-Data_0818.pdf

227 | Chung, C. y Jeng, T. (2018), *Information extraction methodology by web scraping for smart cities: Using machine learning to train air quality monitor for smart cities*. CAADRIA 2018 - 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Learning, Prototyping and Adapting. The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). Página (1)



ANEXO B

AJUSTES DEL CÓDIGO UTILIZADO

```

BOT_NAME = 'iftbot'
SPIDER_MODULES = ['iftbot.spiders']
NEWSPIDER_MODULE = 'iftbot.spiders'

# Crawl responsibly by identifying yourself (and your
website) on the user-agent
USER_AGENT = 'iftbot (+http://www.ift.org.mx)'

# Obey robots.txt rules
ROBOTSTXT_OBEY = True

DEFAULT_REQUEST_HEADERS = {
    'Accept': 'text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8',
    'Accept-Language': 'en', }

EXTENSIONS = {
ITEM_PIPELINES = {
AUTOTHROTTLE_START_DELAY = 5
    The maximum download delay to be set in case of
high latencies
AUTOTHROTTLE_MAX_DELAY = 60
AUTOTHROTTLE_TARGET_CONCURRENCY = 1.0
HTTPCACHE_ENABLED = True
HTTPCACHE_EXPIRATION_SECS = 0
HTTPCACHE_DIR = 'httpcache'
HTTPCACHE_IGNORE_HTTP_CODES = []
HTTPCACHE_STORAGE = 'scrapy.extensions.httpcache.FilesystemCacheStorage'

```

```

BOT_NAME = 'iftbot'
SPIDER_MODULES = ['iftbot.spiders']
NEWSPIDER_MODULE = 'iftbot.spiders'

# Crawl responsibly by identifying yourself (and your
website) on the user-agent
USER_AGENT = 'iftbot (+http://www.ift.org.mx)'

# Obey robots.txt rules
ROBOTSTXT_OBEY = True

DEFAULT_REQUEST_HEADERS = {
    'Accept': 'text/html,application/xhtml+xml,application/xml;q=0.9,*/*;q=0.8',
    'Accept-Language': 'en', }

EXTENSIONS = {
ITEM_PIPELINES = {
AUTOTHROTTLE_START_DELAY = 5
    The maximum download delay to be set in case of
high latencies
AUTOTHROTTLE_MAX_DELAY = 60
AUTOTHROTTLE_TARGET_CONCURRENCY = 1.0
HTTPCACHE_ENABLED = True
HTTPCACHE_EXPIRATION_SECS = 0
HTTPCACHE_DIR = 'httpcache'
HTTPCACHE_IGNORE_HTTP_CODES = []
HTTPCACHE_STORAGE = 'scrapy.extensions.httpcache.FilesystemCacheStorage'

```

(Internet of Things)

 INSTITUTO FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES



<http://www.ift.org.mx/>

Insurgentes Sur #1143, Col. Nochebuena
Demarcación Territorial Benito Juárez,
CP 03720, CDMX
Tel: 55 5015 4000 / 800 2000 120



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NonCommercial-ShareAlike 4.0 Internacional](#).