

Análisis del uso del Internet de las cosas (IoT) en los sectores productivos

José Luis Cuevas Ruíz ¹

Centro de Estudios

Fecha: Julio 2020

En el presente trabajo se analiza el impacto del IoT en los sectores productivos, identificando sus características principales, funcionamiento, cadena de valor, etc., así como también identificando las áreas de oportunidad que se presentan en México para el desarrollo de las redes IoT.

¹ Disclaimer: Los comentarios, resultados y recomendaciones expresadas en el presente documento no necesariamente reflejan el punto de vista del Instituto Federal de Telecomunicaciones ni del Centro de Estudios, queda a cargo del autor la responsabilidad de los mismos.

Análisis del uso del Internet de las cosas(IoT) en los sectores productivos

José Luis Cuevas Ruíz²

I. Introducción

De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones, el Internet de las Cosas (IoT) se define como una infraestructura global para la sociedad de la información, que permite el desarrollo de servicios avanzados por medio de la interconexión, por medios físicos y virtuales, de objetos, basado en tecnologías de información y comunicaciones avanzadas y en continua evolución. La interconexión de estos objetos se lleva a cabo por medio de la utilización de sensores inteligentes que colectan información del entorno físico. Esta información puede ser procesada y utilizada *in situ* para la generación de alertas y envío de información específica. Los datos colectados son enviados a centros de almacenamiento y procesamiento, donde análisis más profundos y con mayores alcances pueden ser realizados. Los resultados de estos análisis se potencian como insumos fundamentales para la toma de decisiones.

La toma de decisiones llevada a cabo con información confiable, detallada y a tiempo, permitirá el desarrollo de modelos de negocio más eficientes, impactando a los sectores productivos, entre muchas otras áreas. Existe evidencia de que este impacto en los sectores productivos ha ido en

² Doctor en Telecomunicaciones por la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Barcelona, España. Maestría en Ciencias por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo, CENIDET. México. Catedrático en el ITESM en el área de Telecomunicaciones y Electrónica. Amplia Experiencia en evaluación y diseño de redes de Telecomunicaciones fijas y móviles. Consultor en TICs por más de 15 años, participando en Proyectos Tecnológicos Nacionales y Extranjeros.

incremento en los últimos años, logrando crecimientos importantes en el producto interno bruto (PIB) de varios países.

El objetivo del presente estudio es elaborar un análisis del impacto del uso del internet de las cosas en los sectores productivos en México, con el objeto de contribuir en la elaboración e identificación de recomendaciones regulatorias y buenas prácticas que potencie su desarrollo y crecimiento, así como la detección de los factores regulatorios que pudieran representar un obstáculo para su desarrollo. Para tales efectos se analizará la asignación de espectro, bandas de operación, regulaciones existentes, tecnologías utilizadas, entre otros factores.

Se describen las perspectivas de crecimiento del IoT en México y en el mundo, basado en su uso en los sectores productivos. Se analiza las principales motivaciones de la industria para invertir en proyectos de IoT, así como los beneficios que se esperan de esta inversión. Al mismo tiempo se analizan los principales retos que la industria percibe al momento de implementar un proyecto de este tipo. Estos retos se estudiarán como potenciales obstáculos para el desarrollo del IoT en México.

A partir de la contribución al PIB de las diferentes actividades económicas que se desarrollan en el país, se identifican aquellos sectores de la industria que mayor aportación presentan. Se analizan las condiciones y oportunidades para que el uso del IoT potencie el crecimiento y desarrollo de estos sectores. Así mismo, se identifican aquellos sectores en México donde la aplicación del IoT pudiera ser incipiente y poco significativo en relación a su impacto en el PIB, pero que de acuerdo con la experiencia mundial, pudieran ofrecer mayores beneficios a mediano y largo plazo. Del mismo modo, se analiza la cadena de valor del IoT, indicando áreas de oportunidad para México

La descripción de los proyectos que se desarrollan alrededor del mundo nos permite identificar las áreas donde se está centrando la innovación tecnológica y la inversión, así como los sectores de la industria que presentan recursos disponibles en el mercado hardware, aplicaciones y plataformas de IoT. Así mismo, se cuenta con el *expertise* de las empresas que han implementado dichos proyectos, así como los resultados que diversos países reportan. Se presentan cifras referentes al uso, penetración e impacto del uso de la tecnología IoT en varios países del mundo.

Se presenta un panorama de las opciones tecnológicas disponibles en cada una de las etapas que integran un sistema de IoT, analizando las diferentes tecnologías inalámbricas existentes en el mercado, las diversas plataformas y las empresas presentes en el mercado del almacenamiento y análisis de la información, comparando algunas de sus principales características y condiciones de operación. También se presenta un análisis de los requerimientos de algunas de las aplicaciones del IoT más relevantes en el mercado, en relación a su latencia y ancho de banda; estos requerimientos se comparan con las prestaciones que las diversas tecnologías inalámbricas ofrecen. Este análisis permitirá una primera aproximación en la evaluación de qué tipo de tecnología brinda el mejor rendimiento para determinadas aplicaciones.

La cadena de valor del IoT es analizada, con el objeto de identificar sus componentes y empresas que integran cada una de las etapas que la integran. Este análisis, de cada una de las etapas mostradas en la cadena de valor permite identificar aquellas áreas donde el IFT tiene competencia en su regulación y elaboración de normatividad, si este fuera el caso, así como aquellos sectores en los que su contribución podría ser como coadyuvante o marginal. A partir de esta identificación se espera la integración de recomendaciones y propuestas de líneas de acción y mejores prácticas.

En la primera sección se incluye una introducción del objetivo y alcances del presente trabajo. En la sección II se da un panorama de la tecnología IoT, su cadena de valor, así como la descripción de algunos usos y aplicaciones. También se incluye un panorama de factores y obstáculos para su uso en la industria. En la sección III se analiza la penetración del IoT con base en el número de dispositivos conectados, así como su impacto económico estimado por algunas organizaciones. La descripción de un índice IoT propuesto por la consultora Deloitte es mostrado y analizado en la sección IV, describiendo los parámetros que lo integran. En la sección V se muestran las actividades económicas y su contribución al PIB; señalando además aquellos sectores y actividades en México y en el mundo en las que se han desarrollado proyectos usando la tecnología IoT. En la sección VI se brinda un panorama de la regulación del IoT en algunas naciones del mundo, mientras que en la sección VII se integran algunos Retos y Oportunidades para impulsar el desarrollo del IoT en México en las actividades productivas. Al final en la sección VIII se dan algunas conclusiones y recomendaciones específicas, proponiendo la contribución que el IFT pudiera tener en la implementación de estas recomendaciones.

II. Tecnología del IoT y la Industria

Tecnología en el IoT

La innovación tecnológica hoy más que nunca se presenta como un recurso fundamental para incrementar la eficiencia en los procesos industriales y productivos, aumentando también la eficiencia en el uso de los recursos y materias primas, así como mejorando la calidad de los servicios que la población recibe. De este modo, la innovación tecnológica se presenta como un potenciador del desarrollo económico y del bienestar en los países. Así mismo, se potencia también el desarrollo nuevos modelos de negocio con base tecnológica, que permiten el desarrollo de empresas sustentables y eficientes. Esta constante evolución e innovación tecnológica exige que los procesos productivos y sistemas actuales sean flexibles y escalables, de modo que puedan incorporar las mejoras tecnológicas más recientes de manera ágil. El concepto Industria 4.0, del cual es parte el IoT, supone un nuevo hito en el desarrollo industrial aspirando a la digitalización de los procesos productivos, aumentando su eficiencia, calidad y seguridad, entre otras áreas.

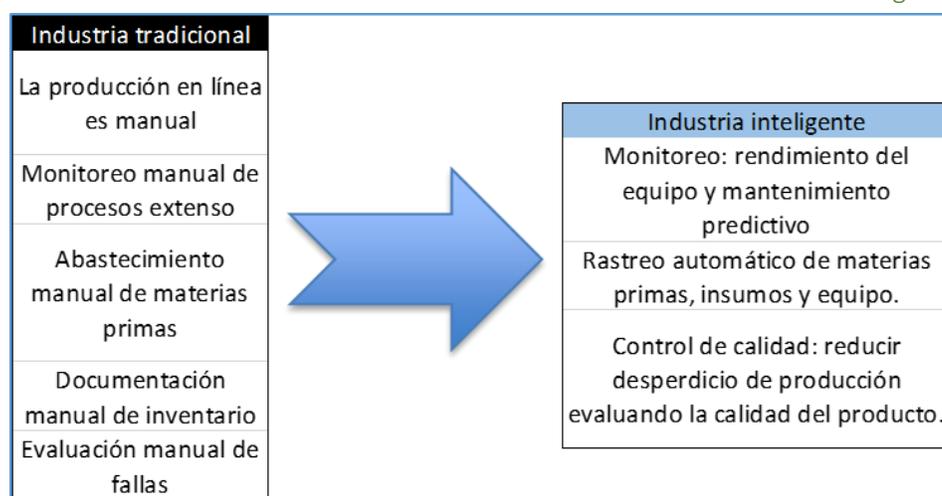
En la Industria 4.0 la automatización e intercomunicación son las bases para la optimización de los procesos de diseño y producción, lo que permite una fabricación altamente personalizada, de calidad, flexible y eficiente. Esta automatización e intercomunicación puede beneficiar a todo el ciclo de vida del producto asegurando su integración vertical y horizontal. Este ciclo está integrado por la investigación, diseño, elaboración del prototipo, producción, distribución y gestión de clientes, además de servicios vinculados, interconectando a todos los que forman parte del proceso, permitiendo su colaboración de forma inmediata y oportuna. En cada uno de estos procesos, el IoT toma relevancia constituyéndose como un habilitador de un proceso de mejora continua, ya que por medio de esta tecnología se habilitan las redes de comunicación que permitirán la interconexión entre todos los elementos de cada etapa de producción, incluyendo personas (empleados, trabajadores, proveedores, clientes, etc.) y objetos (maquinaria, unidades de transporte, herramientas, etc.). El desarrollo de la Industria 4.0 hace vislumbrar cambios en los puestos de trabajo, productos personalizados para cada cliente, mayor interacción con los proveedores, convirtiendo a las organizaciones en entes más predictivos. Todo esto se puede traducir en incrementos en la productividad y en la competitividad, generando una significativa reducción de los costos [7].

El almacenamiento masivo, análisis y disponibilidad de la información proporciona acceso en tiempo real a información clave para cada una de las etapas en el proceso de fabricación. Esta información permitirá conocer las características, necesidades y problemáticas de cada línea de producción, independientemente del tipo de industria que se trate. Los operarios, supervisores y todas las personas relacionadas con el proceso productivos pueden acceder a información actualizada desde su puesto de trabajo; así mismo, esta información provee a directivos de la empresa y responsables de cada uno de los departamentos de una mayor capacidad de diagnóstico de la situación global de la fábrica, de modo que una mejor integración de políticas de operación y decisiones eficaces en el sistema productivo sean viables. La generación de un flujo de información confiable y en tiempo real, aporta un valor efectivo a todo el sistema repercutiendo en una gestión más eficaz de los recursos, mejora en los procesos y un aumento de la rentabilidad [8].

El IoT está impulsando la transformación de las actividades económicas en los países, incluyendo a prácticamente todas las industrias, promoviendo la competitividad y el desarrollo de actividades I+D+i (Investigación, Desarrollo e Innovación) en diversas áreas, así como en el desarrollo de nuevas aplicaciones y usos [7]. En particular, la industria de la manufactura se está transformando de esquemas de producción en línea, una supervisión y monitoreo manual, control manual en actividades relacionadas con el proceso de producción (control de inventarios, actualización de la documentación, control de calidad, mantenimiento, etc.), a esquemas que integran un monitoreo automático del rendimiento de los equipos y la programación de mantenimientos preventivos, la realización de seguimiento de materiales y equipos en toda la cadena de producción implementando esquemas automatizados de control de inventarios y producción, así como también el seguimiento electrónico del proceso de producción y control de calidad. Algunas de las características más importantes de este proceso de transformación de una industria tradicional hacia una industria

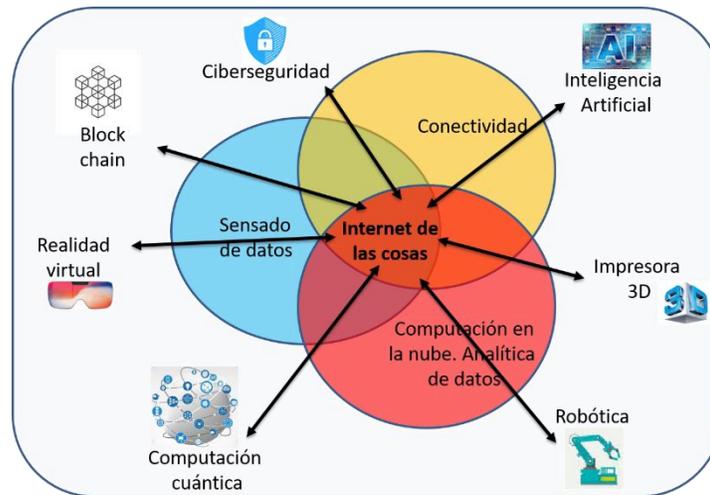
inteligente se muestran en la Gráfica 1. La denominada industria inteligente define aquellos procesos industriales que han incorporado en su operación recursos y herramientas tecnológicas que permiten la automatización en sus procesos de producción, así como la incorporación de mejoras en su gestión, generando plusvalía. Esta plusvalía está basada en un mejor aprovechamiento de los recursos e insumos (materias primas, energía, mano de obra), eficiencia en la gestión administrativa (toma de decisiones, trámites), mejoramiento de la calidad, así como un incremento en la capacidad de producción. Para el logro de las mejoras mencionadas en las actividades productivas, el IoT se enfoca en la recolección y uso de información de múltiples fuentes; esta información aporta valor cuando es utilizada para modificar futuras acciones dentro de la industria [22]. De manera ideal, la modificación de las acciones mencionadas generará nueva información, que nuevamente será colectada y analizada, integrando un proceso de mejora continua.

Gráfica 1. Evolución de las actividades en la industria tradicional e inteligente



El IoT, como parte del ecosistema tecnológico global, está transformando los sectores productivos y de servicios, logrando impactar cada vez más en nuevos sectores, siendo la pieza clave en la consolidación y desarrollo de diversas industrias. Esta constante innovación tecnológica y el desarrollo de nuevas aplicaciones y modelos de negocio están definiendo un escenario en constante cambio. Son varias y de diversa índole las tecnologías presentes hoy en día en la industria, ofreciendo soluciones específicas para cada una de estas. Dentro de esta diversidad tecnológica es factible identificar las principales tecnologías emergentes que se han posicionado como los elementos disruptores en la industria; algunas de estas tecnologías se muestran en la Gráfica 2. La tecnología IoT puede identificarse como una convergencia de tecnologías en constante evolución.

Gráfica 2. Ecosistema tecnológico en la Industria [5]



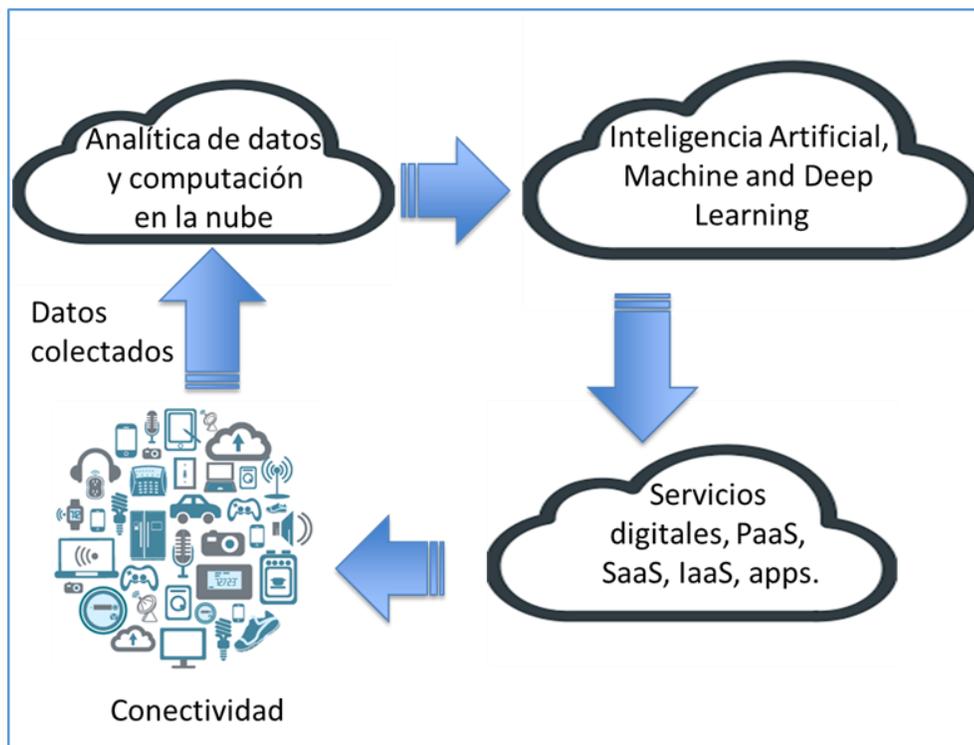
La tecnología IoT, como parte de este ecosistema, está integrado por tecnologías que posibilitan el sensado (componentes electrónicos, sensores y módulos de interconexión) y la recolección de una gran cantidad de datos, la conectividad (que incluye los estándares de operación, redes de comunicación, espectro de operación, etc.) y por último la fase de almacenamiento y gestión de los datos colectados (incluyendo computación en la nube y la analítica de los mismos). Como se mencionó, un sistema de IoT permite la recolección masiva de datos en tiempo real generados por procesos, fenómenos físicos o personas que generan en su operación y/o actividad cotidiana.

Los datos colectados se pueden transmitir, almacenar y analizar de manera que los procesos de toma de decisiones sean más ágiles, automáticos, eficientes y basados en información fiable. Las aplicaciones y usos de la tecnología IoT pueden ser en muy diversas áreas, y prácticamente en cualquier entorno. Por ejemplo: un paciente puede una app de un monitor cardiaco en su teléfono que alertará instantáneamente a su médico si el pulso se eleva a niveles peligrosos, recibir un mensaje con recomendaciones, activar una ambulancia para su traslado, notificar al hospital de su llegada, monitorear su traslado, etc.; en el campo, los sensores en las tierras de cultivo pueden activar sistemas de irrigación si el suelo se seca excesivamente, desactivarse en caso de lluvia, detectar plagas o la necesidad de algún tipo de fertilizante o abono; en logística se pueden rastrear los envíos de mercancías desde las fábricas hasta su destino final, informando sobre los detalles de su ruta, como tiempo de recorrido, consumo de gasolina, número de paradas, abertura de puertas, etc. En la industria se puede monitorear la operación de la maquinaria con el fin de programar mantenimientos preventivos, evitando paros por fallas de las mismas, así como también monitorear toda la cadena de suministros de las empresas de manufactura, apoyando los programas de mejora en los tiempos de entrega/recepción de materiales, producto final, etc.; en las empresas de alimentos, el monitoreo y aseguramiento de la cadena de frío de perecederos es un tema vital en el proceso de hacer llegar los productos al consumidor final. Existen sistemas de iluminación pública con sensores que han contribuido el combate de la delincuencia por medio de la detección de disparos de armas de fuego.

Los ejemplos son vastos en cantidad y variedad. Las aplicaciones del IoT pueden desarrollarse prácticamente en cualquier actividad productiva.

En general, el flujo de información en un sistema IoT ocurre de acuerdo al diagrama mostrado en la Gráfica 3. Cada una de las etapas por las que la información pasa contribuye con funcionalidades específicas que coadyuvan al proceso de conversión de los datos en valor; en la primera etapa se realiza la recolección de los datos (esto depende de una infraestructura robusta y amplia); los datos colectados son almacenados y organizados usando plataformas que operan en la nube, para posteriormente ser analizados usando algoritmos y técnicas computacionales que permiten la generación de un nuevo valor de los datos; este proceso de análisis se lleva a cabo usando técnicas como inteligencia artificial o machine learning. Con los resultados de los análisis realizados y la nueva información obtenida, es viable la creación de nuevos modelos de negocio, impulsando la creación y desarrollo de nuevos emprendimientos.

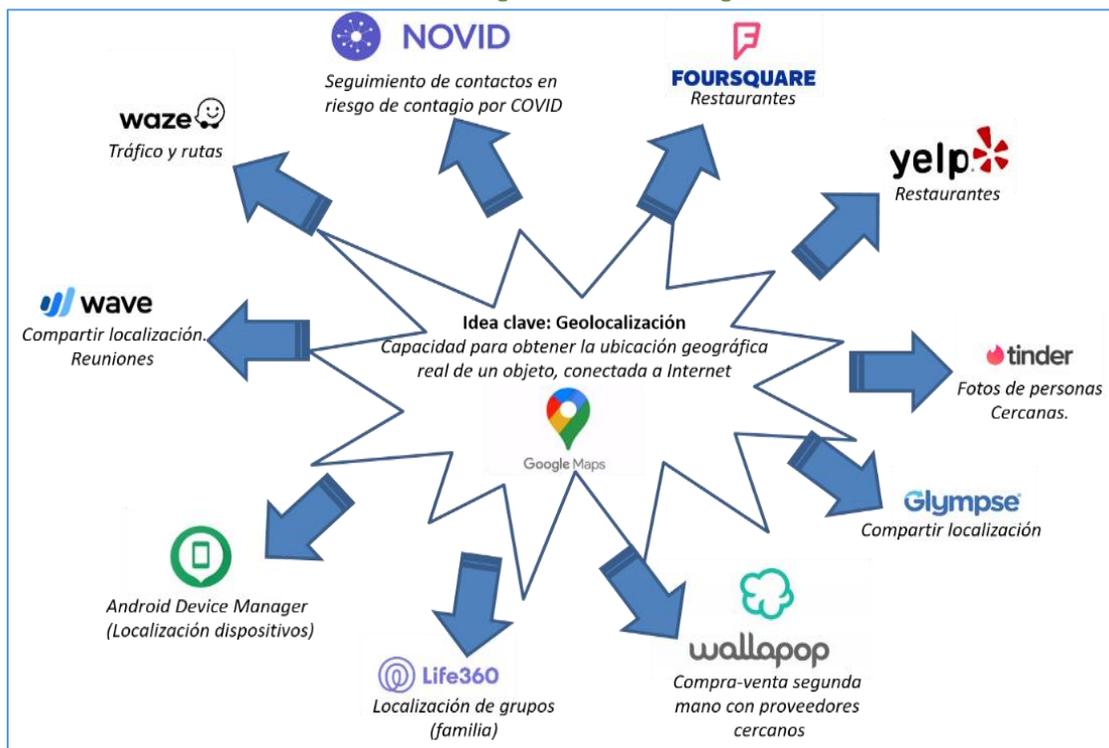
Gráfica 3. Flujo de datos en un sistema IoT.



En esta dinámica de innovación tecnológica y de desarrollo de nuevas ideas, muchas de las nuevas aplicaciones y uso surgen a partir de una idea central ya probada y en funcionamiento, a la que se le agregan nuevas funcionalidades, y que puede dar como resultado la generación de nuevos desarrollos y emprendimientos.

El caso de Google maps descrito en la Gráfica 4 es una muestra de esto. En esta Gráfica se muestran varias aplicaciones y servicios que basaron su desarrollo en la información de geolocalización generada por Google maps. Estas aplicaciones adicionaron algunas prestaciones a la geolocalización, integrando un nuevo servicio. Es el caso de la app *Life360*, que ofrece acceder a la localización de la familia en todo momento, o *Waze* para el control y seguimiento de rutas para automovilistas, o de manera más reciente la aplicación *NOVID*, que permite dar seguimiento a las posibles cadenas de contagio por el virus COVID-19. Cada una de las aplicaciones mencionadas y mostradas en el Gráfico 4, así como muchas otras (Uber, empresas de paquetería, logística, etc.), agregan nuevo valor a la información de la idea central de la geolocalización para iniciar nuevos modelos de negocio.

Gráfica 4. Modelos de negocio basado en la geolocalización.

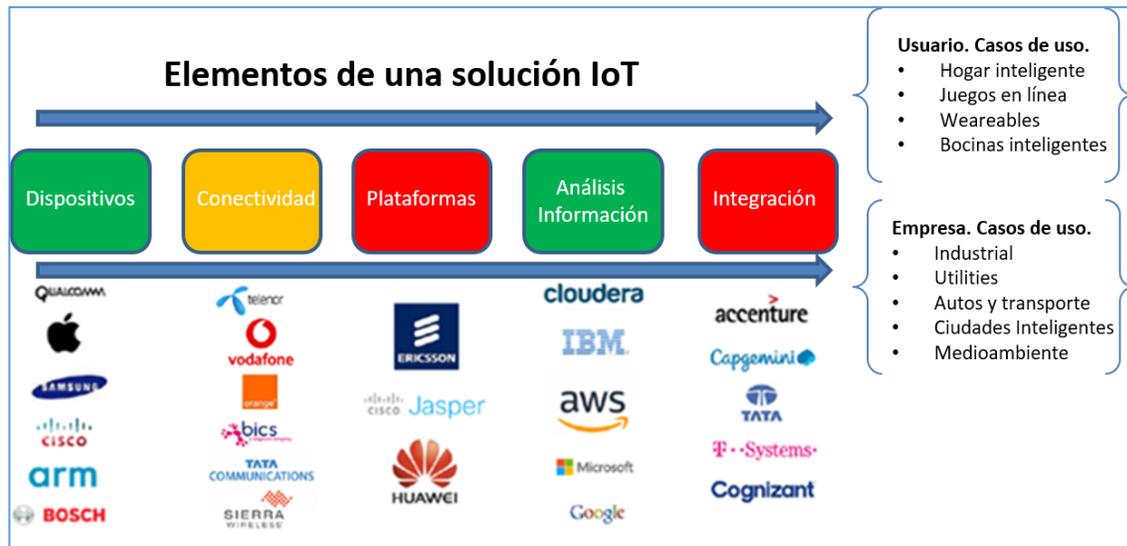


La cadena de valor del IoT está conformada por las empresas que ofrecen las soluciones tecnológicas para cada una de las etapas mostradas en la Gráfica 3. La competencia, la incorporación de mejoras tecnológicas y el desarrollo de aplicaciones en nuevos sectores ha impulsado el crecimiento, desarrollo y relevancia de las empresas que integran esta cadena de valor.

En el proceso de identificación de las oportunidades de desarrollo y retos que el uso de la tecnología IoT presenta para cada país, la identificación de las empresas que integran esta cadena de valor permitirá un análisis más profundo y específico. Si bien existe una cadena de valor general que es funcional para todas las aplicaciones del IoT, cada sector productivo de la industria donde se aplique presentará particularidades, encontrando en cada país diversas empresas involucradas, regulaciones

locales, así como también diferentes necesidades. En la Gráfica 5 se presenta un diagrama general global de la cadena de valor para el IoT [24]. En esta se pueden identificar cinco etapas, así como las principales empresas que participan en cada una. Las etapas son: producción de dispositivos, conectividad, plataformas, análisis de la información e integración.

Gráfica 5. Cadena valor del IoT a nivel global. Principales empresas en cada etapa (tomado de [24]).



Cada una de las etapas indicadas, de acuerdo con lo señalado en [28], presenta diferentes participaciones en la cadena de valor total del IoT. La fase señalada como *Dispositivos* que incluye a los sensores, hardware asociado, así como los equipos que integran los objetos inteligentes que se conectan a una red de IoT cuenta con una participación del 10% del valor total de la cadena; la *Conectividad*, que integra a las redes que permite a los dispositivos tener acceso a Internet, cuenta con una participación de la cadena de valor de aproximadamente el 20%, mientras que la habilitación de las capacidades de los servicios y las aplicaciones que se encuentran en la fase denominada *Plataformas*, es la que más participación del valor de la cadena tiene, con aproximadamente un valor del 40%. Por último, las últimas etapas, la de *Análisis de Información* e *Integración*, cuentan con una participación de valor del 15% cada una. El peso específico de cada etapa en la cadena de valor es un proceso dinámico y sujeto a la innovación y cambios tecnológicos que pueden generar reconfiguraciones de esta cadena en tiempos cada vez más cortos. El desarrollo e innovación aplicado en alguna de estas etapas pudiera en cualquier momento ser disruptivo y cambiar la estructura de la cadena; las empresas tecnológicas que participan en cada etapa están en constante competencia y desarrollo, lo que incentiva aún más este proceso de innovación y desarrollo de nuevas ideas y aplicaciones. En este escenario, además de los temas tecnológicos inherentes, surgen temas relevantes sobre regulación, condiciones de mercado, competencia, privacidad de la información, entre otros. A lo largo de toda la cadena hay también importantes aportaciones a la seguridad cibernética de parte de empresas globales como Intel, Cisco, e IBM. Como se verá más adelante, el tema de la seguridad es de alta relevancia

En la fase de *Conectividad*, son las empresas telefónicas las que mayor impulso están dando a los proyectos de IoT, haciendo uso de espectro con licencia. Estas redes de IoT están inmersas en el ecosistema de las redes de telecomunicaciones existentes, por lo que deben contar con protocolos de comunicación compatibles con los protocolos de comunicaciones actuales, además de cumplir con los niveles de seguridad en el manejo y acceso a la información. Además, en esta etapa se consideran también a las redes que operan en bandas libres. En la tercera fase, las *Plataformas*, existe una gran fragmentación del mercado. En esta, son varias las empresas y estándares que compiten por la cuota de mercado, creando la capa más compleja de la cadena de valor. Para cada país, esta capa puede presentar particularidades debido a que en cada caso los proyectos de IoT responden a las necesidades o potencialidades que cada país presenta (aplicaciones industriales, alimentación, agricultura, seguridad, salud, etc.). A medida que se profundiza en los ecosistemas de cada país, esta capa es mucho más compleja en su composición, ya que además de los actores globales y regionales, existen empresas locales y subregionales (*startups*, emprendedores); estas últimas, al conocer mejor el mercado local, la cultura y las necesidades del país, pueden estar en mejores condiciones para integrar soluciones que respondan en mejor medida a las necesidades específicas.

La capa que incluye el almacenamiento, datos y analítica es responsable de la provisión de la capacidad de gestión de la información (brindar capacidad suficiente, disponibilidad y accesibilidad), así como de la implementación de los algoritmos de clasificación y análisis de los datos, generando la información necesaria para ejecutar las aplicaciones, brindar información y/o contribuir a la toma de decisiones de los procesos. El papel de esta etapa es de vital importancia en la consecución de los objetivos; es en esta etapa en el que la información colectada se transforma en valor.

La etapa donde se lleva a cabo el análisis de la información, es donde se escala la ejecución de la aplicación al nivel de capacidad que la aplicación demande, de manera eficiente, y prácticamente en cualquier momento y lugar, proporcionando flexibilidad y disponibilidad de los recursos informáticos acorde al nivel de desarrollo de los proyectos, generando mejoras en costos y en el retorno de inversión. Los principales actores globales como Amazon Web Services, Google y Microsoft Azure.

Para el caso de Latinoamérica, los niveles de desarrollo para cada una de las etapas de la cadena de valor son diferentes para cada una de estas. De acuerdo con [5], las etapas de la cadena de valor que mayor consolidación presentan son los Dispositivos y Análisis de Información, debido a que en el mercado existe una oferta importante de módulos y hardware que permiten la interconexión de los objetos a las redes de IoT disponibles, tanto en bandas licenciadas (operadores telefónicos) como en bandas libres (LoraWan, SigFox, WiSun); esta oferta incluye la posibilidad de integrar a los objetos a una red de IoT desde su fabricación, incluyendo desde su diseño los módulos de interconexión correspondientes; por otro lado, se puede llevar a cabo esta integración de manera no invasiva, instalando los módulos de interconexión de manera externa, implementando las interfaces con los objetos o sistemas que generarán la información. Respecto al Análisis de la Información, el buen nivel de desarrollo que esta etapa presenta se debe principalmente a las aportaciones por parte de empresas globales como AWS y Google, que han puesto en el mercado una gran cantidad de

recursos, de capacitación y tecnológicos, que permiten aprovechar recursos en la nube. La Conectividad presenta un proceso de consolidación intermedio, con avances significativos con empresas consolidadas y estándares en operación, sin embargo, al mismo tiempo se presentan riesgos, sobre todo en los nuevos desafíos sobre ciberseguridad, ya que cada nuevo objeto conectado a la red podría presentar una potencial puerta de acceso a información confidencial. Así mismo, para algunos países de Latinoamérica como México, la cobertura en el acceso a internet al 100% en toda la geografía aún es un tema pendiente. Las etapas *Plataformas* e *Integración* son aquellas que aún se encuentran en pleno desarrollo y penetración en su uso; el desarrollo de estas permitirá la consolidación de las aplicaciones, mediante la implementación de procesos eficientes y flexibles, que puedan evolucionar integrando innovaciones tecnológicas como blockchain, inteligencia artificial o computación cuántica.

Como se ha comentado, esta cadena de valor puede presentar peculiaridades y condiciones específicas para cada región o país. Sin embargo, cabe hacer mención que el tema referente a la seguridad, es un elemento común a cada una de las etapas que integran la cadena. La seguridad se presenta como una de las principales preocupaciones. Este factor se puede interpretar como el nivel de confiabilidad en el manejo de la información, y de manera más específica en el control al acceso de la información que pudiera considerarse crítica y/o privada para una empresa o persona. Como se mencionó, cada una de las etapas mostradas en la cadena de valor puede representar una puerta de acceso a todo el sistema, lo que representa un enorme riesgo para empresas y gobiernos. Esta es una preocupación generalizada y cada vez más toma una mayor importancia.

Cabe hacer mención especial también a la etapa de la *Analítica de información*. Esta mención se debe a su importancia en el proceso de conversión de información recabada en valor, que puede traducirse en la generación de plusvalía en la organización; es en este punto donde los sistemas de IoT están en posibilidades de adquirir la madurez que les permita consolidarse y evolucionar de acuerdo a las condiciones y necesidades del mercado. Es gracias a la innovación tecnológica, al incremento en las capacidades de cómputo, a la Inteligencia Artificial, al desarrollo de algoritmos de machine learning, entre muchos otros recursos, que el desarrollo de nuevos modelos de negocio se ha potenciado. El valor de la información que las empresas tecnológicas obtienen, radica en la información que obtienen y gestionan. Se considera que esta es la etapa que mayor impacto tiene en la actualidad en la penetración y uso de los sistemas de IoT. Las empresas que implementen de manera más efectiva esta etapa, generarán información más valiosa, contribuyendo a una mejor toma de decisiones y a incrementar la eficiencia en la operación de los procesos.

La tecnología IoT contribuye de manera determinante en la transformación de los datos en valor; este valor está cimentado en la cantidad, veracidad y accesibilidad de la información, que una vez analizada y procesada se sitúa como la base para la implementación de estrategias de mejora continua, así como el desarrollo de nuevos modelos de negocio e innovaciones tecnológicas. Decisiones oportunas y eficaces pueden integrarse gracias a la disponibilidad de datos, y que pueden

traducirse en ahorros y mayores márgenes de utilidad. Estas características están potenciando el desarrollo, crecimiento y evolución de la industria actual.

Las alternativas tecnológicas que se presentan en el mercado para implementar redes de IoT ofrecen condiciones y ventajas operativas que las pueden hacer más o menos eficientes para determinadas aplicaciones. Varios de estos estándares iniciaron su implementación para aplicaciones y condiciones específicas y han ido evolucionando, con el objeto de ampliar su espectro de cobertura. En el Cuadro 1 se muestra un análisis comparativo del rendimiento que algunas tecnologías inalámbricas ofrecen para el desarrollo de redes de IoT, comparando 5 parámetros de funcionamiento: consumo energético, latencia, seguridad de la red, velocidad de transmisión y tipo de espectro. Se hace uso de 5 niveles que indican el nivel de desempeño de cada parámetro: alto, medio alto, medio, medio bajo y bajo. Podemos ver que en general, las redes de IoT que operan haciendo uso del espectro e infraestructura de las redes celulares existentes están en condiciones de ofrecer grandes anchos de banda y bajas latencias, mientras que para aquellas aplicaciones que no demanden bajas latencias los estándares como SigFox y LoRa son los que mejor funcionamiento pudieran ofrecer. En el mismo cuadro se indican las tecnologías que operan en bandas con licencia o bandas libres (en México esta es la banda de 900 MHz).

Cuadro 1. Análisis comparativo de tecnologías para redes IoT.

Tecnología	Consumo Energía	Latencia	Seguridad	Velocidad	Espectro
4-5G	↗	☺	◆	◆	Licencia
ZigBee	⌘	□	↗	↗	Libre
LTE-M	↗	☺	◆	◆	Licencia
WiFi	◆	⌘	⌘	⌘	Libre
NB IoT	⌘	↗	◆	↗	Licencia
LoRa	↗	□	□	☺	Libre
Sig Fox	↗	□	□	☺	Libre
Alto ◆		Medio alto □		Medio ⌘	
Medio bajo ↗			Bajo ☺		

Factores de desarrollo y retos para el IoT en la industria.

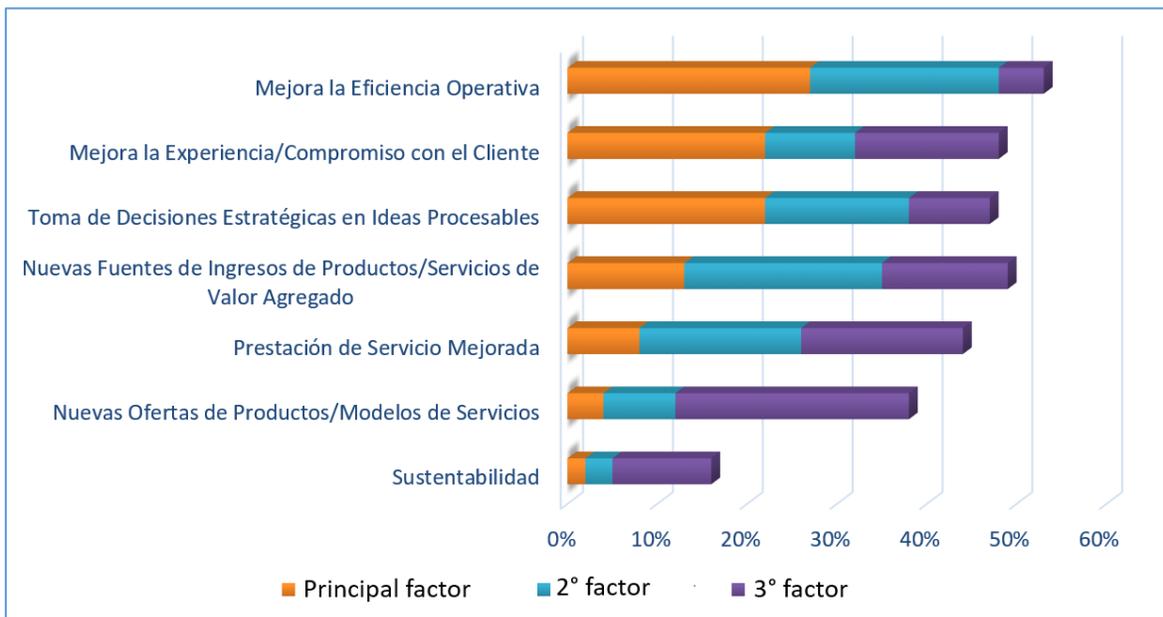
En una encuesta realizada por en 2019 por Ovum [24] a varias empresas, se les solicitó listar las 3 principales razones por las que su empresa iniciaría un proyecto de IoT, así como los 3 principales obstáculos que ellos identifican para llevarlo a cabo. Las razones principales que mencionaron los encuestados fueron las siguientes:

- Mejorar la eficiencia operativa.

- Mejora en la experiencia del cliente.
- Integración de información para la toma de decisiones.

De lo anterior se puede apreciar que, en general, los encuestados tienen una idea clara de que la incorporación de la tecnología IoT en sus empresas puede aportar eficiencia en su operación, ya que más de la mitad de los encuestados lo mencionó dentro de sus 3 principales razones. Otros factores que fueron mencionados en la encuesta como motivadores para la implementación de un sistema IoT en la empresa son: la generación de nuevas fuentes de ingresos, desarrollo de nuevos modelos de negocio, mejora en los servicios de entrega, así como temas de sustentabilidad (energía, uso de agua, etc.). Estos resultados se muestran en la Gráfica 6. A este respecto, en [25] la consultora pwc en un estudio reportado en 2019, coincide que una de las principales razones por las que una empresa hace uso de la tecnología IoT es la de incrementar la eficiencia en sus procesos (33%), y adiciona otra motivación más: la modernización de la marca incorporando nuevas capacidades, que fue mencionado por el 31% de los empresarios consultados en dicho reporte.

Gráfica 6. Principales factores para el desarrollo del IoT (tomado de [24])

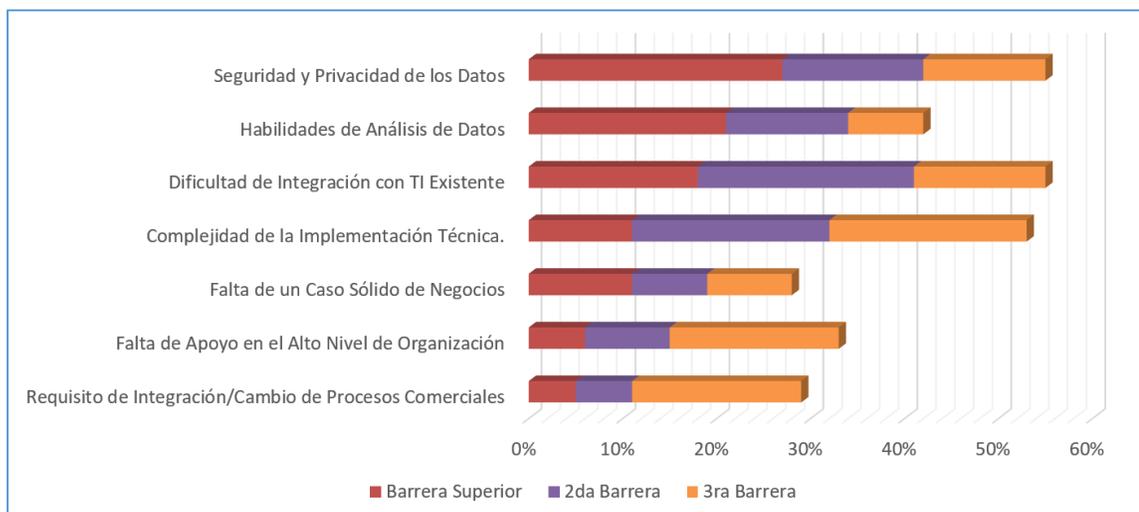


Las 3 principales barreras que se identificaron fueron las siguientes:

- Seguridad en la información.
- Habilidades en el análisis de datos.
- Dificultad de integración con la infraestructura de TI existente.

En la Gráfica 7 se muestra que el tema de la seguridad en el manejo, acceso y almacenamiento de la información es un tema preocupante para poco más del 25% de las personas que participaron en el sondeo, mencionándolo como su principal obstáculo; además, más del 50% de los encuestados lo mencionó también como una de las 3 principales barreras para integrar un proyecto de IoT a su empresa. Con respecto a las habilidades en el análisis de datos y la dificultad para la integración de la tecnología IoT a su infraestructura, estos factores pudieran ser vistos como una combinación de la aparente complejidad inherente a una nueva tecnología y a una falta de personal con las calificaciones y conocimientos necesarios dentro de la empresa. El listado completo de las barreras mencionadas se muestra en la Gráfica 7 [24]. En el mismo sentido, en [5] se muestra una plena coincidencia con las dos primeras barreras mencionadas previamente, indicando que para el caso de América Latina también las principales preocupaciones al momento de implementar un proyecto de IoT son primordialmente los riesgos de seguridad, así como la protección y privacidad de los datos.

Gráfica 7. Principales barreras para el desarrollo del IoT (tomado de [24])



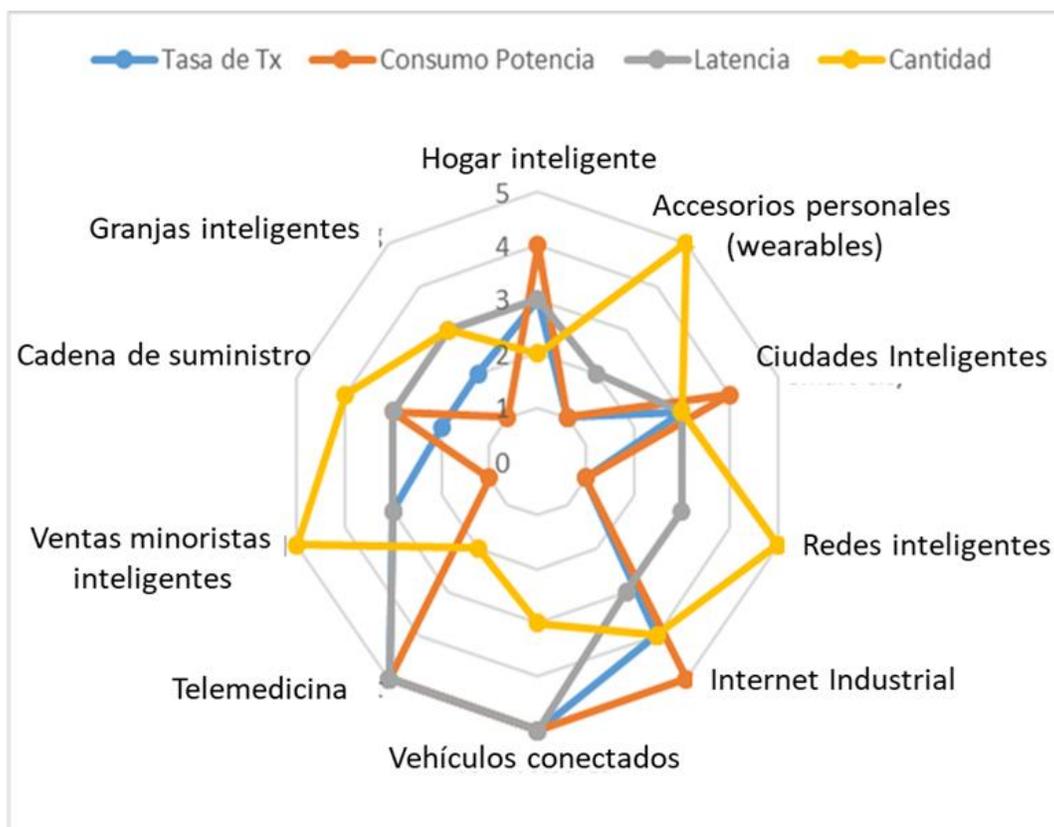
La identificación de los factores de desarrollo mencionados, permite asumir que en la industria y en el ámbito empresarial en general se tiene una idea clara de la aportación que el IoT puede traer a la eficiencia en los procesos productivos, con la consecuente generación de una mayor utilidad. En [26] se reporta que a nivel global, más del 58% de los responsables de decisiones de negocio afirman que sus colegas tienen una buena o excelente comprensión del valor comercial del IoT; buena parte de este convencimiento está basado en los casos de éxito que cada vez más se dan a conocer, en áreas también cada vez más diversas [25][26]. No obstante este dato alentador, de acuerdo con un estudio reportado por Cisco [27], apenas el 26% de las iniciativas de IoT realizadas por las organizaciones llegan a consolidarse como proyectos exitosos, debido a factores relacionados con la cultura, organización y liderazgo.

Uso y aplicaciones del IoT

Del mismo modo que las diferentes soluciones para la implementación de una red de IoT ofrecen diferentes niveles de calidad en sus parámetros de operación, las múltiples aplicaciones de IoT pueden demandar también diferentes prestaciones de una red de IoT. Para determinados sistemas un valor de latencia bajo con un ancho de banda grande pueden ser los factores más relevantes en la consecución de los resultados deseados (ejemplo: auto autónomo), o pueden ser sistemas en los que el ahorro de energía constituya el factor clave de desempeño (por ejemplo: monitoreo del consumo de agua), etc. De este modo, pudieran integrarse nichos de aplicación donde ciertas tecnologías inalámbricas pudieran presentar mejores rendimientos que otras para determinadas aplicaciones. En este sentido cabe mencionar que las empresas y alianzas (LoRa Alliance, WiSun Alliance) que existen detrás de cada estándar están llevando inversiones e investigaciones en el desarrollo y mejora de cada uno de los estándares mencionados, buscando mejorar el nivel de las prestaciones que ofrecen, tratando con esto cubrir una mayor variedad de aplicaciones.

El diseño de una red de IoT se dimensiona de acuerdo con los requerimientos de la aplicación que soportará; estos requerimientos son específicos para cada aplicación. En general, las aplicaciones de IoT que más desarrollo han tenido son aquellas en las que se implementan esquemas de monitoreo de operación de equipos y mediciones de consumo. Varias de las aplicaciones más comúnmente usadas hoy en día se muestran en la Gráfica 8; en esta, se muestra un análisis comparativo de las principales condiciones que demandan la operación de dichas aplicaciones. En este análisis se comparan parámetros como la tasa de transmisión, consumo de potencia, latencia y cantidad de dispositivos en la red. Por ejemplo, un valor numérico alto para la tasa de transmisión es indicativo de que la aplicación demandará una gran cantidad de bits por segundo (por lo que demandará un mayor ancho de banda); para el caso del parámetro referido como *cantidad*, un valor alto indica que la aplicación puede presentar la necesidad de que la red soporte una gran cantidad de dispositivos conectados por unidad de área, operando al mismo tiempo. Para el parámetro *consumo de potencia*, valores altos significan que los dispositivos conectados presentarán un relativo alto nivel de consumo energético (esto puede significar que los objetos conectados necesitan estar conectados a una fuente de energía permanente, haciendo poco viable el uso de baterías); para el caso de la *latencia*, valores altos del parámetro representa que la comunicación entre los dispositivos y la plataforma no necesariamente deberá ser en tiempo real, pudiendo tolerar retardos en los mensajes de varios segundos (existen aplicaciones de monitoreo que pudieran demandar el envío de apenas uno o dos mensajes al día). Por ejemplo, en la gráfica podemos ver que para el caso de vehículos autónomos la cantidad de vehículos conectados no se considera un factor crítico en un futuro cercano, no obstante, la demanda de altas tasas de transmisión, bajas latencias y bajos consumo de energía con vitales. Este perfil de necesidades podría permitir delinear el tipo de solución inalámbrica que mejor cumplirá con los requerimientos de cada aplicación.

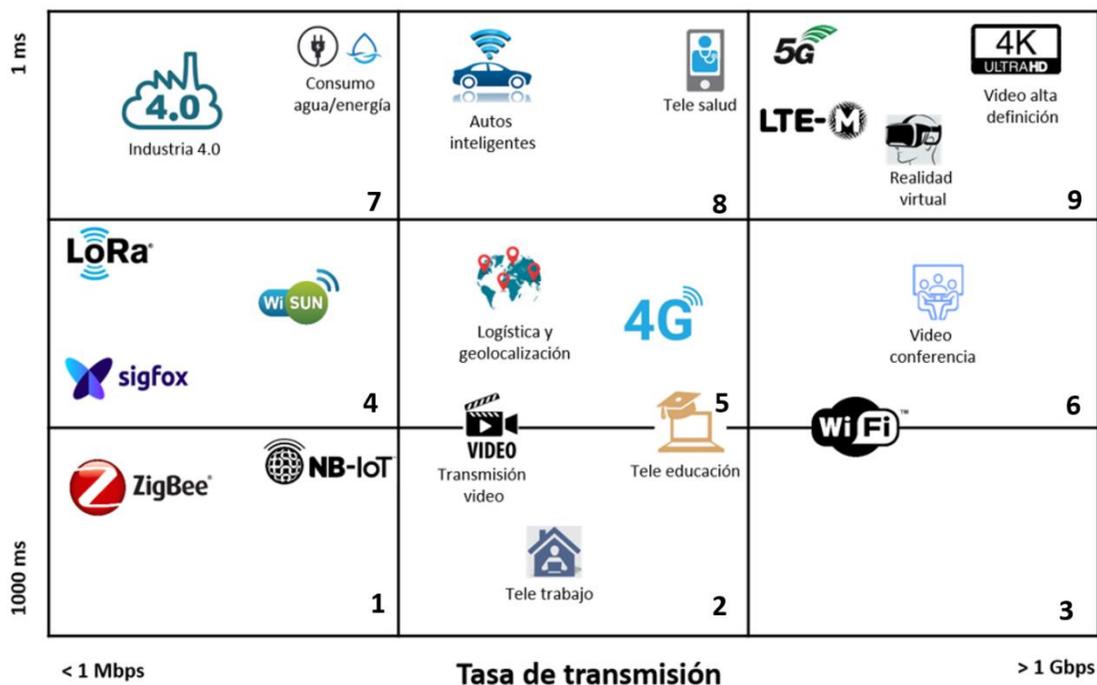
Gráfica 8. Comparación de los recursos demandados para diferentes aplicaciones de IoT.



Considerando el análisis previo, se tiene por un lado las aplicaciones que demandan recursos con determinados niveles de calidad y por el otro lado existen las alternativas tecnológicas que ofrecen cumplir con las demandas. Como ya se estableció que no todas las soluciones ofertan el mismo nivel de prestaciones, es claro deducir que para determinadas aplicaciones existen soluciones que están en condiciones de proporcionar una mayor eficiencia. En la Gráfica 9 se muestra un plano que permite identificar qué solución estaría en mejores condiciones de cumplir con los requerimientos de algunas de las aplicaciones más comunes citadas previamente. El plano mostrado, representa en el eje horizontal el valor de la tasa de transmisión, y el eje vertical el nivel del valor de latencia. Un punto que se aleje del origen sobre el eje vertical disminuirá su valor, pasando de un valor máximo de 1000 mseg a un nivel mínimo de 1 mseg; en el caso del eje horizontal, a medida que un punto se aleja del origen representará una mayor velocidad, pasando de un valor mínimo de 1 Mbps a un valor máximo de un 1Gbps. De este modo, el plano se divide en 9 zonas, y en estas se sitúan algunas aplicaciones y soluciones inalámbricas de IoT, considerando el valor de sus coordenadas (*velocidad, latencia*). Por ejemplo, para el caso de una aplicación de tele-salud situada en el cuadrante 8 requerirá valores de latencia bajos y valores de tasa de transmisión del orden de los 500 Mbps; de este modo, en el mismo plano se puede ver que un estándar que pudiera cumplir con estos requerimientos es alguno que opere basado en espectro e infraestructura celular (4, 5G, LTE-M). Para el caso de un sistema de monitoreo de consumo energético o de agua en una ciudad, operando con altos valores de latencia y bajas velocidades de transmisión, los estándares LPWA como LoRa o WiSun

pueden ser la alternativa para la integración de esta red. Varias aplicaciones más y su alternativa de solución puede ser localizada en el mismo plano.

Gráfica 9. Aplicaciones y estándares de comunicaciones inalámbricas para IoT.



Actualmente, las principales aplicaciones y usos del IoT se centran en sectores y áreas específicas, que han permitido dimensionar su uso e impacto, principalmente en la industria. No obstante que el listado de algunos de los proyectos que se están desarrollando en la actualidad estén enfocados en determinados sectores, se debe enfatizar que el uso del IoT puede extenderse prácticamente a cualquier actividad humana.

Como ya se mencionó, la gestión de sistemas que cuentan con una gran cantidad de dispositivos conectados es una de las principales aplicaciones que se están desarrollando en la actualidad. El contar con información de cada dispositivo en tiempo real del estatus de su la operación, notificación de alertas, fallas y emergencias permiten implementar acciones, en muchos casos preventivas.

Para el caso de los proyectos IoT documentados en México durante el 2019 y reportados en [31], se menciona que se llevaron a cabo 14 proyectos, de los cuales 4 fueron para el monitoreo y control de equipos, 4 para infraestructuras como aeropuertos y edificios y 3 más destinados al monitoreo y medición de consumo de recursos como agua y energía. Adicionalmente a lo mencionado, varios de los integradores y operadores de estándares de IoT en México reportan el desarrollo de otros proyectos que están en proceso y/o en la fase de pruebas piloto. WND México [32], el operador de SigFox aquí en el país informa que están participando en varios proyectos varios relacionados con el

monitoreo de *utilities*, como es el caso de las pruebas piloto para los medidores de Gas Natural en diversas regiones del país, con volúmenes que podrían rebasar los 2 millones; SACMEC, Sistemas de Agua Potable de la Ciudad de México, está en proceso de evaluación con la tecnología SigFox de diversos proyectos relacionados con la medición de la captación de agua en sistemas pluviales, de la red de distribución, así como medición residencial y comercial. Así mismo existen pruebas piloto para mediciones de media y baja tensión con la CFE, con el inicio del despliegue en breve con un mercado potencial de aproximadamente 35 millones. Del mismo modo, se hace referencia a proyectos de Logística y Transporte, donde se reportan más de 10 mil unidades que están siendo monitoreadas en la actualidad por medio de esta tecnología. En la industria automotriz se están implementando soluciones para el manejo de contenedores reutilizables para la industria automotriz, contribuyendo a la optimización y mejora en los costos operativos.

Por su parte, el integrador en México de la tecnología WiSUN, comentó que en la actualidad se están centralizando en la conectividad IoT de medidores de energía, monitoreo de la calidad de la energía en las líneas de distribución de media tensión, análisis de pérdidas técnicas y no técnicas. Mencionó también que el potencial total de conexión de medidores inteligentes y sensores en la red de distribución es de algunas decenas de millones, y que en la actualidad esta tecnología está en una etapa de adopción con algunos operadores de telecomunicaciones, que la están ya considerando como parte de sus estrategias de redes IoT para este mismo sector, ciudades inteligentes, agroindustria inteligente y también para el sector del IoT Industrial.

En el caso de LoRaWAN, el integrador menciona que se están desarrollando aplicaciones en temas de salud, medición de agua, seguridad, gas y energía eléctrica. Al ser una tecnología diseñada inicialmente para su operación con bajos consumo de energía, esta es ideal para el uso de sensores operados a baterías. La topología estrella que rige a esta tecnología, permite que la infraestructura ya desplegada (sitios de antenas, modems) puede ser aprovechada para el despliegue de nuevas redes LoRaWAN.

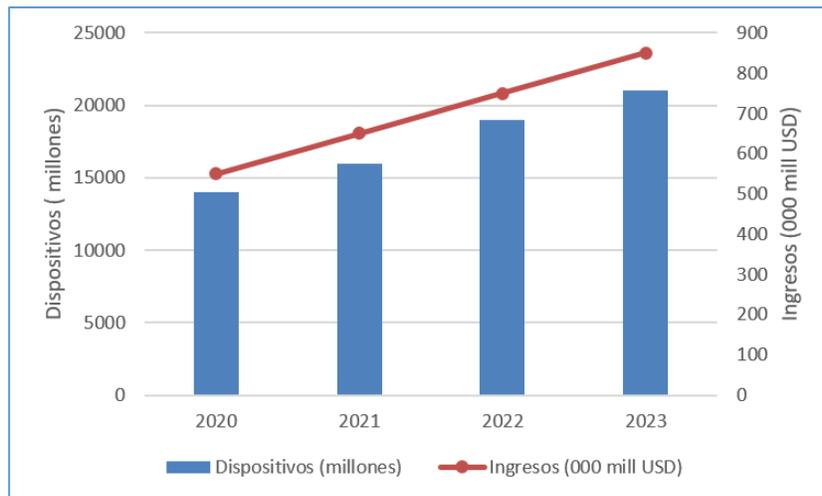
III. Impacto de la Tecnología IoT en las actividades económicas

III.1 Dispositivos IoT conectados

El número de dispositivos conectados a través de redes de IoT alrededor del mundo seguirá creciendo de manera acelerada en los siguientes años. Los casos de éxito en varios países y el hecho de que las empresas integradoras y proveedoras de la tecnología necesaria tienen operaciones globales, potencia la exportación a otros países de los desarrollos ya implementados. Esto ha contribuido de manera importante al crecimiento en el número de dispositivos conectados por redes de IoT

alrededor del mundo. En la Gráfica 10 se presenta un panorama global de los dispositivos de IoT conectados, con perspectivas hacia el 2023, donde se espera que el número de dispositivos conectados supere los 20,000 millones en todo el mundo, representando un ingreso de casi 900 mil millones USD [24].

Gráfica 10. Dispositivos IoT conectados en el mundo (elaboración propia con datos de [7])



El nivel de penetración en el uso de la tecnología IoT en un país o región se puede aproximar tomando como base el número de dispositivos conectados. Para el caso de los países de Latinoamérica y el Caribe, en la Gráfica 11 y de acuerdo con [5], se presentan las perspectivas de crecimiento del número de dispositivos IoT conectados, haciendo énfasis en México, Colombia y Brasil. En esta gráfica se estima un crecimiento de las conexiones entre los años 2020 y 2023 de un poco más del 85% para México y Brasil, y de más del 100% para el caso del Colombia en el mismo período. Sin embargo, no debemos perder de vista que la conexión de los dispositivos solo representa una etapa en la implementación de un sistema IoT, y que es necesario que las otras fases se consoliden y evolucionen para que se puedan concretar los impactos mencionados.

Gráfica 21. Dispositivos IoT (millones) conectados en Latino América y el Caribe (elaboración propia con datos de [5])

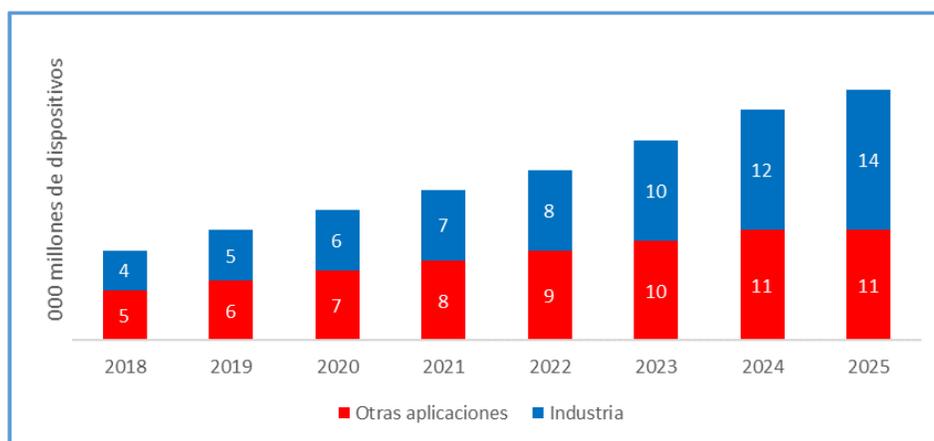


En la misma gráfica se muestra el estimado de dispositivos IoT por habitante, que podría dar una mejor idea de la penetración de las aplicaciones IoT en dichos países.

Son varias las consultoras que coinciden en el potencial de desarrollo de los países de Latinoamérica en el despliegue y aprovechamiento de la tecnología IoT; la firma IDC [5] estima valores similares a los mencionados en cuanto a la cantidad de dispositivos IoT conectados para el 2023 en Latinoamérica, estableciendo un monto alrededor de los 1000 millones de dispositivos conectados, proyectando una inversión de alrededor de 19 mil millones USD en la zona para el mismo año. La consultora Deloitte [8] en un estudio del 2018 propuso 6 factores clave para el desarrollo de la tecnología IoT en Latinoamérica, enfatizando el potencial de crecimiento en la región, identificando a Chile, Costa Rica y Brasil como los tres países mejor preparados para participar en el mercado del IoT y para aprovechar las oportunidades que esta ofrece. En la misma línea, IDC proyectó que los países que mayor crecimiento tendrán en América Latina hacia el 2022 son México, Colombia y Chile [5].

Los logros obtenidos en la eficiencia de los procesos y los beneficios económicos logrados, representan una motivación para que estas redes continúen con su crecimiento alrededor del mundo, así como también su aplicación incluya otros sectores y actividades productivas. Este continuo crecimiento se ve reflejado en el número de conexiones a nivel mundial, y de manera particular para aplicaciones industriales. De acuerdo con GSMA [7], para el 2025 habrá más de 14,000 millones de dispositivos conectados operando en el sector industrial, con crecimientos anuales promedio de alrededor del 21% por año, a partir del 2018. Esta cantidad representaría más de la mitad del total de dispositivos de IoT conectados en el mundo, impulsando cambios significativos en los sectores industriales donde se utilice. Gráfica 12.

Gráfica 32. Dispositivos IoT conectados. Totales y en el sector Industrial (tomado de [7])



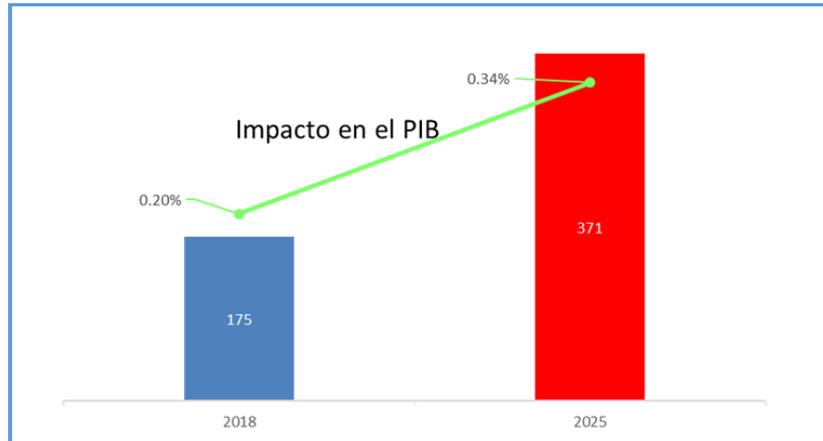
Como ya se ha mencionado, las soluciones basadas en IoT pueden potenciar la eficiencia en los procesos y servicios, donde el sector industrial resulta de particular importancia dado el papel clave

que juega en la generación de bienes de consumo para la población, así como su contribución a la economía de cada país. En la búsqueda de hacer más eficientes los procesos productivos, el uso de la tecnología IoT, puede ser compatible con las medidas medioambientales que actualmente se están implementando en el mundo, contribuyendo con esto al balance entre desarrollo y el cuidado de los recursos naturales. De acuerdo con [5], la tecnología IoT brinda la posibilidad de mejorar la eficiencia en los procesos productivos, al mismo tiempo que contribuye al cuidado del medio ambiente, permitiendo cimentar un escenario que considere al mismo los objetivos de productividad mencionado y el cuidado del medio ambiente. El Foro Económico Mundial llevó a cabo un análisis de más de 640 proyectos de IoT alrededor del mundo, considerando el impacto ambiental y el grado de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Informó que el 84% de los despliegues de IoT están abordando o tienen el potencial de abordar los ODS y que incluyen ciudades y comunidades sostenibles, energía asequible y no contaminante, salud y bienestar y producción y consumo responsable, entre otros [5]. El análisis apoya la hipótesis que muchos comparten referente a que el IoT genera beneficios de desarrollo sustentable que podrían maximizarse sin comprometer su viabilidad comercial. La razón por la que el IoT podría convertirse en un catalizador para la sostenibilidad radica en su aportación al uso eficiente de recursos, así como la generación de información confiable para formulación de regulaciones y normatividad. Más específicamente, el informe encontró que de la totalidad de los proyectos de IoT analizados, el 75% del impacto se concentró en cinco ODS: industria, innovación e infraestructura el 25%, Ciudades y comunidades sostenibles con el 19%, energía asequible y no contaminante el 19%, salud y bienestar con un 7%, así como producción y consumo responsables con el 5%.

La tecnología IoT permitirá el incremento en la productividad, entre otras cosas gracias a los ahorros y eficiencias logradas en los procesos. Así mismo, esta tecnología genera otros beneficios adicionales: de manera directa, a las empresas tecnológicas e integradoras involucradas en la fabricación de los dispositivos, en las redes de comunicación y en la implementación de las soluciones; adicionalmente se impulsa la productividad en empresas de las industrias en las economías de los países, generando un beneficio en la economía global, y por último, se podrán generar ahorros directos en los usuarios finales al hacer más eficiente el consumo de bienes como energía y agua.

De acuerdo con estimaciones de GSMA Intelligence [7], el impacto económico de la aplicación de la tecnología IoT en la productividad a nivel global pasará de unos 175 mil millones USD en 2018 a un total de 371 mil millones USD en 2025, con un impacto en el producto interno bruto de 0.2% en 2017 y de 0.34% en 2025. Gráfica 13.

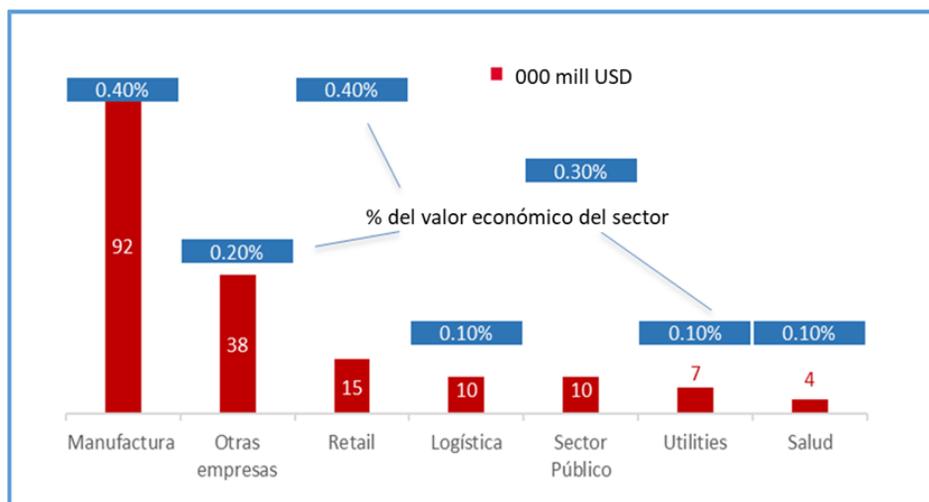
Gráfica 43. Impacto global en la productividad de los negocios y su impacto en el PIB (000 millones USD) (tomado de [7]).



En el mismo informe se estima que para el 2025 las empresas generarán globalmente cerca de un billón USD en ingresos. Este crecimiento en la productividad también se espera que repercuta en un incremento de los ingresos a los gobiernos por concepto de impuestos. El impacto fiscal esperado se espera alcance los 47 mil millones USD en el 2025 [7].

Los sectores de la manufactura fueron los líderes en el impacto económico de la tecnología IoT en la productividad de los negocios a nivel global en el 2018; poco más 50% del impacto global correspondió a este sector, siendo la fabricación de equipos electrónicos y la industria automotriz las que más incrementos presentaron [7]. En la Gráfica 14 se puede ver que el impacto en el sector de la manufactura alcanzó aproximadamente los 92 millones de USD.

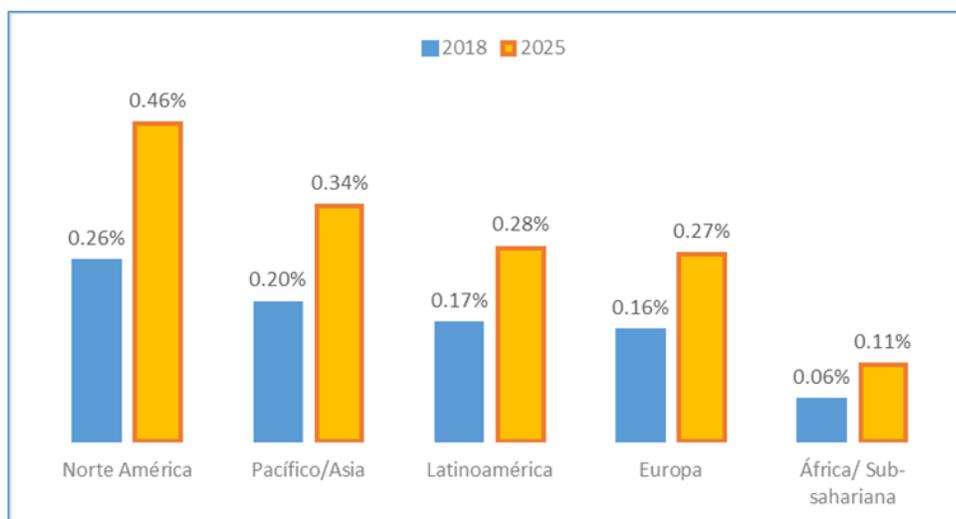
Gráfica 54. Impacto económico del IoT en la productividad de los negocios en el mundo (tomado de [7])



No obstante que en la Gráfica 14 se presenta una estimación menor para sectores como el de las *utilities* y salud, estos podrían alcanzar incrementos significativos en los siguientes años si consolidan su proceso de adopción de la tecnología IoT [7]. Son varios los proyectos e iniciativas alrededor del mundo que están abordando temas como transporte inteligente, gestión del uso y conservación de recursos hídricos, consumo energético, así como temas de e-salud. Estas actividades pudieran en poco tiempo cobrar relevancia en la generación de riqueza para los países.

La región de Norteamérica es la zona donde mayor crecimiento económico se ha logrado como consecuencia del uso de la tecnología IoT, al impactar de manera directa en la productividad de los negocios. Se estima que esta zona pueda alcanzar un impacto sobre el PIB en 2025 (0.46%) de casi el doble del que logró en el 2018 (0.26%). Para el caso de la región de Latinoamérica se esperan niveles del 0.28% de impacto sobre el PIB para el mismo año, ligeramente superior al que se estima pueda lograr Europa. Las estimaciones del impacto en el PIB del uso del IoT en otras regiones del mundo se presentan en la Gráfica 15, de acuerdo con [7]

Gráfica 65. Crecimiento del PIB debido al impacto del IoT en la productividad en los negocios (tomado de [7]).



De manera global, el estudio reporta que el uso del IoT en las empresas ha generado en promedio ahorros de entre 4 y 6 % en los gastos de operación, apuntando que este ahorro fue mayor en los países en vías de desarrollo comparado con los países industrializados. Esto presenta una gran área de oportunidad para países como México [7].

IV. Índice IoT

Debido al impacto en las actividades productivas que el uso del IoT está presentando alrededor del mundo, ha surgido la necesidad de contar con herramientas que permitan medir y evaluar el nivel de penetración y uso de esta tecnología en los países, con el objeto de identificar factores y áreas de

oportunidad que permitan impulsar el desarrollo y aprovechamiento de esta tecnología. En esta línea, Deloitte publicó un índice que permite conocer el nivel de penetración de la tecnología IoT en los países [5]. Este índice está basado en 5 parámetros que permiten hacer un análisis comparativo de las características y condiciones que deberían desarrollarse para alcanzar un mejor nivel de adopción de la tecnología IoT. Las características que contempla este índice son: Infraestructura TIC, Regulación, Capacidad para innovar, Situación Política y Económica, Adopción de la tecnología en las empresas, y Habilidades. Esto permite establecer y detectar las áreas de oportunidad que cada país presenta, con el objeto de impulsar la introducción de la tecnología IoT a sus actividades económicas.

En la Gráfica 16 se presenta una comparación entre los países de la OCDE y los países de Latinoamérica basada en este índice [5]

Gráfica 76. Índice IoT para países de la OCDE, Latino América y México (elaboración propia con datos de [5])

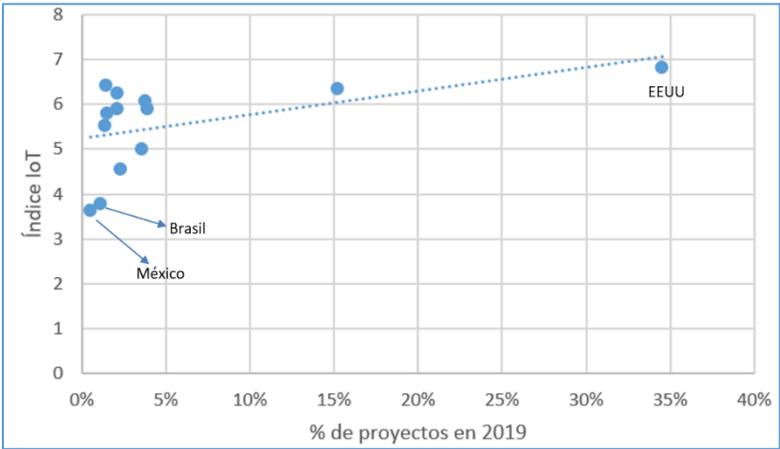


El marco regulatorio considera las políticas públicas, el marco normativo vigente y sobre todo el de la Ciberseguridad; los países que ofrecen lineamientos y reglas claras, de largo plazo, son impulsores de la actividad empresarial y del desarrollo de nuevos modelos de negocio, que potencialmente pudieran impulsar el uso del IoT. La situación política y económica del país estima el nivel de estabilidad del país en su actividad cotidiana, que puede generar un ambiente de confianza en el desarrollo de empresas y actividades productivas. Uno de los temas relevantes es el tema de la alfabetización digital, considerado en el parámetro de las habilidades; una sociedad con mejores habilidades digitales, que fomente la formación en ciencias y tecnología tiende a integrar en sus actividades cotidianas los recursos de innovación y tecnológicos, accediendo con ello a productos y servicios de mejor calidad. Otro elemento de importancia es la cobertura y calidad de la conectividad a internet que el país ofrece; este es un factor relacionado con la infraestructura existente, así como

la existencia de políticas y regulaciones que fomenten la inversión en estas. Una infraestructura limitada, en cobertura y capacidad, inhibirá de manera determinante el aprovechamiento de las prestaciones que el IoT pueda ofrecer, tanto en servicios como en el desarrollo de industrias. El desarrollo de la capacidad para innovar requiere de un esfuerzo conjunto basado principalmente en dos vertientes: generación de recursos humanos (capacitación y formación profesional) por un lado, y la integración de una estructura organizacional, principalmente con participación del gobierno, que brinde soporte y recursos a la innovación y el emprendimiento. Esta infraestructura puede incluir la creación y coordinación de una estrategia nacional para el impulso y desarrollo de emprendimiento basados en IoT, la realización de foros y seminarios con expertos de la industria y academia, etc. La adopción de tecnologías en las empresas representa un elemento fundamental en el desarrollo de las aplicaciones de IoT. Esta adopción generaría un efecto dominó para que las aplicaciones y uso pueden cubrir nuevos sectores y desarrollar mejoras a los sistemas ya existentes.

De acuerdo con [30], en 2019 se documentó el desarrollo de 2780 proyecto de IoT alrededor del mundo; de estos casi el 60% de la totalidad fueron en países que presentan un índice IoT mayor a 6 puntos. Los EEUU (índice IoT de 6.83) es el país que más proyecto de IoT presentó, con más del 35% del total, seguido del Reino Unido (índice IoT de 6.35) con poco más del 15%. En la Gráfica 17, para una muestra de 13 países se muestra la relación entre el número de proyectos realizados y el valor de su índice IoT. Para el caso de América Latina, se presenta el caso de Brasil (índice de 3.78) con 30 proyectos y México (índice de 3.65) con 14 proyectos documentados.

Gráfica 87. Índice -vs- proyectos realizados.



No obstante que los factores considerados en el índice pudieran ser generales, proveen una visión comparativa contra el resto de países. Para el caso de México, este reporta que en 4 de los aspectos que contempla el índice el país se encuentra por arriba del promedio de los países de Latinoamérica y el Caribe, resaltando que es en la infraestructura en la que más se debe avanzar. Sin embargo, en

todos los aspectos nos encontramos por debajo del promedio que los países de la OCDE. El análisis de cada uno de los elementos que integran a cada factor se puede profundizar en [5].

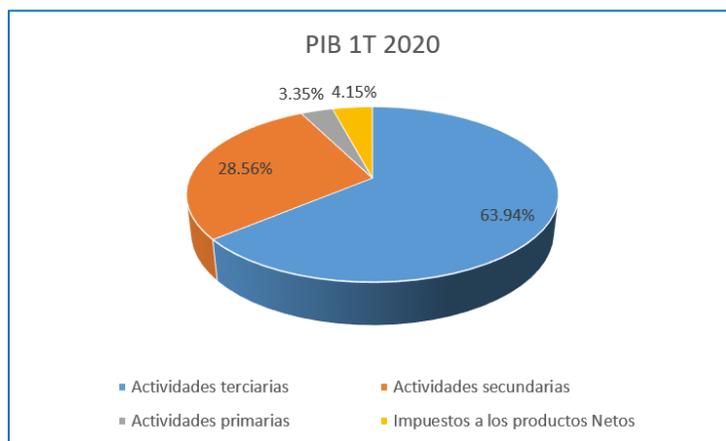
V. Actividades económicas en México. Uso potencial del IoT

Las principales actividades económicas que se desarrollan en México se dividen en tres grandes sectores: Actividades primarias, secundarias y terciarias.

- Actividades primarias: ganadería, pesca, caza, selvicultura, agricultura, y minería.
- Secundarias: industrias manufactureras, generación y distribución de agua, electricidad y gas.
- Actividades terciarias: actividades gubernamentales, transporte y almacenamiento, bienes raíces, comercio al por menor, actividad judicial, servicios de salud, servicios y seguros financieros, medios de comunicación, servicios educativos, telecomunicaciones, hoteles y restaurantes

Las actividades terciarias son las que más aportan al PIB, con casi el 64%, más del doble de la contribución de las actividades secundarias, con una aportación de alrededor de poco más del 28%. Las actividades primarias contribuyen con alrededor del 4%. Gráfica 18.

Gráfica 18. Aportación al PIB nacional por tipo de actividad.

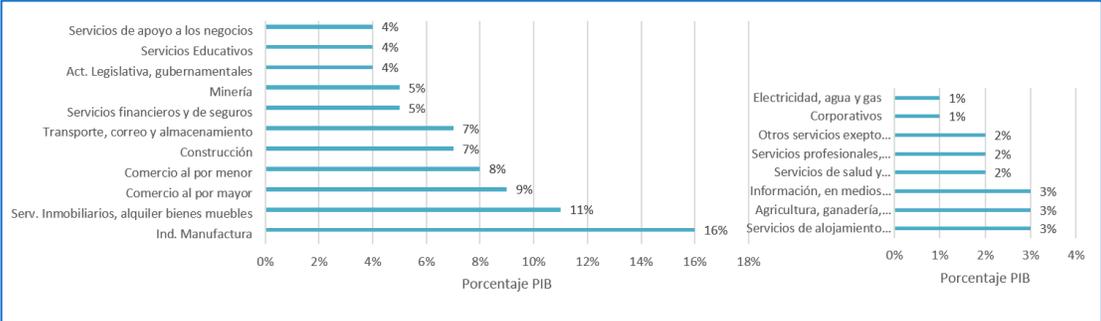


Dentro de las actividades terciarias está considerada la industria de la manufactura, que, de acuerdo con el INEGI, es la actividad que mayor contribución presenta al PIB nacional, con alrededor del 16%, seguido por los servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles, mientras que el comercio minorista, el comercio mayorista y la construcción se situaron en 3°, 4° y 5° sitio con 9%, 8% y 7% respectivamente, como se indica en la Gráfica 19. Dentro del sector manufacturero, se

destaca la industria automotriz terminal y de autopartes, que contribuye con el 3.8% del PIB nacional y el 20.5% del manufacturero.

De acuerdo con [29], se estima que el valor de mercado del IoT industrial en México alcance casi los 4 mil millones de USD; así mismo, y de acuerdo con la consultora pwc, la implementación de IoT en el sector manufacturero representa una gran oportunidad para el país, ya que esta industria cuenta una gran infraestructura en el país (fábricas, plantas automotrices de ensamblado, maquiladoras, etc.), así como una importante estructura de servicios logísticos que apoyan a este sector. El impulso a su desarrollo haciendo uso de IoT puede aportar aún más beneficios para el país.

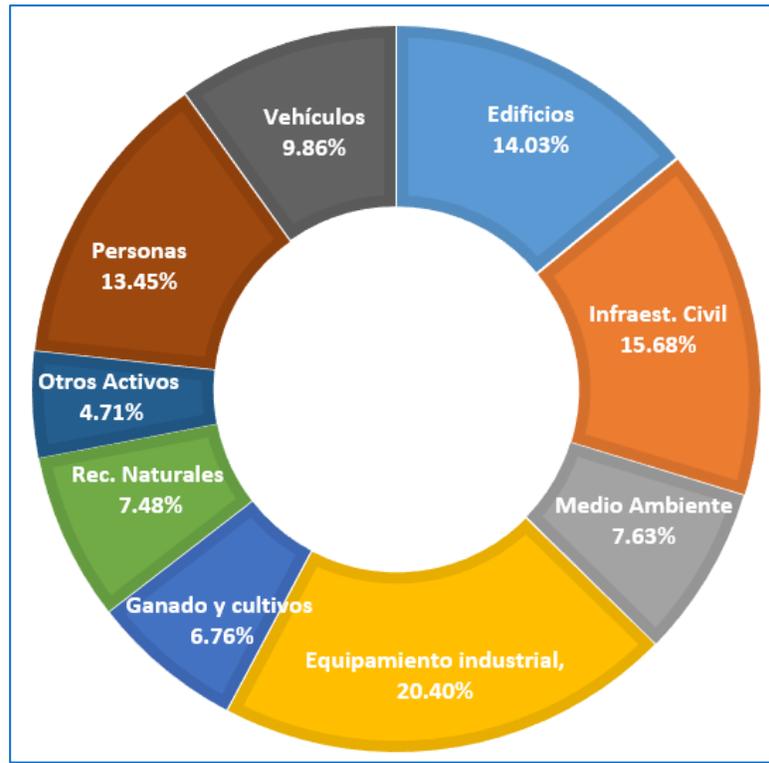
Gráfica 19. Impacto en el PIB de las actividades económicas en México. 2019. (tomado de [22])



Como se ha indicado en secciones previas, los proyectos de IoT que se están desarrollando en México cubren diversos sectores y actividades productivas; sin embargo, en comparación con otros países el potencial por desarrollar es muy grande aún. La cantidad de proyectos de IoT que se están desarrollando en el mundo, o que estén en fase de planeación permite conocer aquellos sectores donde existe la tecnología y conocimiento para su implementación; los casos de éxito reportados en otros países son una fuente valiosa de información y experiencia de campo. En 2019, de acuerdo con [30] la cantidad de proyectos de IoT en el mundo relacionados con equipamiento industrial fue de más del 20%, seguido casi con el mismo número de proyectos el sector de infraestructura civil con casi el 16%, edificios con 14.03% y personas con el 13.45%. Ver Gráfica 20.

En el mundo existe un claro enfoque de los proyectos de IoT en las actividades industriales, lo que permite asumir que existen condiciones, recursos tecnológicos y experiencia para impulsar aún más el desarrollo de la industria en México. Así mismo, se pueden identificar en la Gráfica 19 que hay actividades en las que no obstante que en México su contribución al PIB sea poco significativa podrían aprovechar el impulso que se les está dando en otros países, como son la infraestructura civil y edificios. Otra oportunidad es en el área de Recursos Naturales y actividades Agrícolas y Ganadería (más del 14% de los proyectos de IoT en el mundo son de este sector). De acuerdo con [32], el campo mexicano se ubica entre las 12 economías con mayor producción agrícola en el mundo, cultivando casi 22 millones de hectáreas; además de contar con una gran cantidad de recursos naturales. Este sector se puede considerar con un gran potencial de desarrollo.

Gráfica 20. Sectores de los proyectos IoT desarrollados en el mundo en 2019 (elaboración propia con información de [30]).



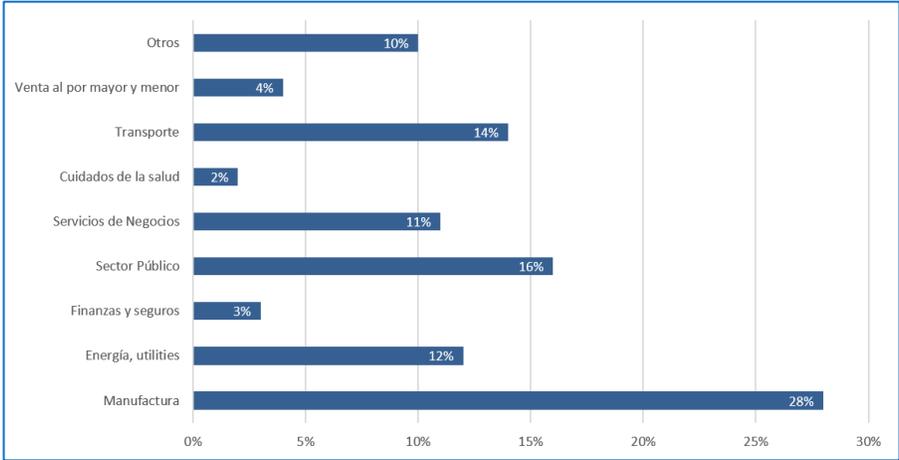
Un dato relevante que puede ser útil en el proceso de identificación de las aplicaciones de IoT que se están desarrollando en el mundo y que pudieran importarse a nuestro país, es la cantidad de contratos para servicios de IoT a nivel mundial mostrado en la Gráfica 20. OVUM [30] reporta que, el mayor porcentaje de estos contratos, con el 28%, son aquellos que pertenecen también al sector de la manufactura. Esto refuerza lo ya comentado respecto a la oportunidad para la industria de la manufactura en México.

Como se mencionó, hay actividades económicas cuya contribución al PIB nacional no son tan significativos. Sin embargo, al analizar la Gráfica 20 se puede ver que en sectores como transporte, energía y *utilities* se están desarrollando proyectos alrededor del mundo, lo que representa que en el mercado existen los insumos específicos (hardware, sensores, estándares, plataformas) para estas aplicaciones; esto también podría ser un impulso el desarrollo de lineamientos de operación y regulaciones. Además, estos proyectos en marcha permiten a la los gobiernos y empresas involucradas en los mismos, la acumulación de experiencias e información, que permitirían una implementación más rápida y eficaz de nuevos proyectos.

Los datos mostrados en la Gráfica 21 nos permite ver que en el mercado existen condiciones para impulsar aún más el desarrollo de la industria de la manufactura en México; la gran cantidad de contratos reportados alrededor del mundo en este sector es un claro indicativo de que existe

tecnología y recursos disponibles, así como de condiciones para su aplicación (demanda en el mercado, condiciones regulatorias, gestión de recursos, etc.). Respecto al resto de sectores que se reportan con un mayor número de contratos de proyectos de IoT, y que aparecen con porcentajes muy bajos respecto a su aportación al PIB nacional, se posicionan como importantes áreas de oportunidad, donde los primeros pasos para su implementación pueden iniciar con el soporte y experiencia de los proyectos que ya están en operación en otros países. Dentro de estas actividades podemos mencionar al sector público, el transporte, los nuevos modelos de negocios de sustentabilidad, logística, seguros, entre otros.

Gráfica 21. Contratos para servicios IoT, por tipo de industria [tomado de[30]]



VI. Regulación

El IoT está contribuyendo a la creación de un nuevo escenario social y económico. Los beneficios potenciales están estimulando el desarrollo de aplicaciones del IoT en todos los sectores. Con el fin de garantizar, promover e impulsar la implementación y desarrollo de esta nueva tecnología, las autoridades regulatorias se enfrentan al reto de integrar todo un paquete de regulaciones y lineamiento de operación relacionadas con el IoT. Estas regulaciones comprenderán aspectos como actividades I+D+i, desarrollo industrial, protección de los usuarios y de sus datos, su identidad, su seguridad, salud, entre otros. De acuerdo con [40], en la actualidad son varios los países de América Latina y el mundo que están presentando iniciativas e iniciando debates con el objeto de avanzar hacia la integración de un marco regulatorio. Este análisis se ha centrado en los siguientes puntos: requerimiento de licencia, espectro, recursos de numeración y direcciones IP para servicios IoT, roaming permanente y la integración de estadísticas y estudios. De las naciones listadas en el Cuadro 2 y de acuerdo con [40], la Unión Europea y Brasil cuentan con proyectos de regulación específica, mientras que el resto están llevando diversas acciones en esa dirección, como son: consultas, pruebas piloto, propuestas de hoja de ruta, etc. Tanto los proyectos ya establecidos, como las distintas

acciones mencionadas se enfocan inicialmente en el tema de la ciberseguridad y protección de datos personales.

Cuadro 2. Regulaciones de IoT en algunos países. (elaboración propia con información de [40])

	Regulación específica para IoT	Disponibilidad de recursos específicos para IoT		Está prohibido el roaming permanente para M2M	Existen estadísticas, estudios de la actualidad del IoT en el país
		Espectro	Direcciones IP		
Argentina	No. En 2018 lanzó un plan de reducción de impuestos para fortalecer a empresas tecnológicas [42]	Uso de bandas SDR, ISM, con límite de potencia. Se colocó espectro en la banda de 900 MHz, 2.4 y 5.2-5.9 para IoT [43]	Estrategia nacional para la adopción del estándar IPv6	Sin regulación	Existen algunos estudios. No hay base de datos actualizada
Brasil	Si. Existe un decreto nacional con proyectos y acciones específicas [44]	No.	No	Si. No es legal desplegar una aplicación M2M/IoT en ese país con una tarjeta SIM que proviene del extranjero.	Si. Estudios
Canada	No. Consultas públicas y foros de discusión. Iniciativas para vehículos autónomos y de seguridad en redes IoT	No. Espectro para 5G en bandas mm (28,37-40,64,71 GHz)	No	Sin regulación. Operadores ofrecen SIMs que pueden ser usados en varios países para conexiones M2M.	No hay estadísticas oficiales publicadas
Chile	No. Hay planes para el desarrollo de proyectos piloto de IoT y ciudades inteligentes.	No. Se impulsan permisos experimentales en 5G para industrias inteligentes	No. Se está considerando	No	Si. Hay estadísticas del sector privado (2016) y algunas de organizaciones internacionales
Colombia	Propuesta. Definición de políticas públicas para fortalecer el desarrollo del IoT y una hoja de ruta.	Si. Se duplicó ancho de banda de acceso libre. Recomendaciones técnicas para el uso de este espectro para IoT.	No	Sin regulación	Si. Medición de la economía digital (2016)
México	No	No. Se indentificó espectro para 5G que incluye su uso para IoT[16]	No	Sin regulación. Operadores ofrecen SIMs que pueden ser usados en varios países para conexiones M2M.	No hay estadísticas oficiales publicadas
EEUU	Propuesta. Brinda lineamientos sobre ciberseguridad y mejores prácticas para los dispositivos IoT.	No. Se ha asignado más espectro para su uso con licencia, libre y compartido en banda de 24 GHz, incluyendo 5G.	No	Sin regulación. Operadores han lanzado eSIMs para M2M que operan bajo acuerdos bilaterales de roaming con	Si. Hay estadísticas de varias ciudades que operan sistemas de IoT
Inglaterra	Si. Código de seguridad para IoT. Seguridad por diseño. 13 puntos [46]	No.	No	En Europa algunas compañías como Vodafone y Deutsche Telekom ofrecen el servicio.	Si. Hay estadísticas de varias ciudades que operan sistemas de IoT
Europa	Si. Reglamento General de Protección de Datos personales (GDPR), Directiva de Seguridad en Redes y Sistemas (NIS)	No. Se ha armonizado la banda libre de 900 y 800 MHz. Espectro de 5G en bandas de 700 MHz, 3.6 GHz y 26 GHz [47]	No	En Europa algunas compañías como Vodafone y Deutsche Telekom ofrecen el servicio.	Si. Hay estadísticas de varias ciudades que operan sistemas de IoT

En el caso del espectro, en general la estrategia está basada en mecanismos de identificación y colocación de espectro para comunicaciones IMT, poniendo especial énfasis en 5G, así como también en la identificación y ampliación de nuevas bandas libres. Referente a las direcciones IP, la estrategia general es impulsar la evolución hacia IPv6, sin necesidad de destinar direcciones específicas para dispositivos IoT. El tema de roaming permanente para dispositivos presenta posiciones y estrategias diversas; en este caso han sido algunos operadores quienes han tomado la iniciativa de iniciar acuerdos para garantizar el roaming entre varias naciones. En este aspecto, la evolución natural para avanzar hacia una estandarización es el cambio a eSIMs [41] para las comunicaciones M2M que

permita realizar un cambio de un operador extranjero a otro local sin cambiar la tarjeta SIM en el dispositivo. Por último, existe una evidente ausencia de parámetros homologados y estadísticas actualizados de parte de la mayoría de las naciones que permitirían conocer la evolución y desarrollo de las redes y aplicaciones IoT en cada país.

VII. Retos y Oportunidades en México

Los casos de éxito alrededor del mundo en el uso y aplicación de la tecnología IoT, describen un panorama de oportunidades en áreas muy diversas y prácticamente en todas las actividades productivas. Para aprovechar estas oportunidades en nuestro país se requiere de un esfuerzo global desde todas las áreas del gobierno, reguladores e industria, con el objeto de definir acciones encaminadas a:

- Estimular la innovación.
- La elaboración de reglas claras y de largo plazo que garanticen las inversiones.
- Promover inversiones directas del gobierno en el uso y aplicaciones de IoT.
- Elaborar esquemas de apoyo y promoción al desarrollo de clústeres, aceleradoras tecnológicas y *startups*.
- Promover la creación de programas que apoyen la adopción del IoT en el sector privado, sobre todo en las PYMES e industria de la manufactura, así como en todas las áreas del sector público.

A continuación, se presentan algunos retos y oportunidades, encaminados a impulsar el desarrollo y uso de la tecnología IoT en las actividades productivas en México.

Índice IoT

Del índice IoT descrito en secciones previas, se desprenden algunas recomendaciones y líneas de acción que pudieran permitir a México aprovechar las áreas de oportunidad señaladas en la sección IV. De los indicadores que integran el Índice IoT, el IFT tiene competencia y facultades en el referente a la infraestructura, mientras que en 4 de los 5 restantes su participación puede ser fundamental al impulsar y coadyuvar en el desarrollo de estrategias para desarrollar cada una de estas. En resumen, las competencias del IFT en los indicadores que integran el mencionado índice se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Competencia del IFT en los indicadores del índice IoT

Parámetros índice IoT	Competencia	Coadyuvancia	Marginal
Infraestructura TIC	●		
Adopción Tecnológica en empresas		●	
Situación Política y económica			●
Adecuación del marco regulatorio		●	
Capacidad para innovar		●	
Habilidades		●	

Infraestructura TIC

Como se indicó la sección IV, de acuerdo con el índice IoT mostrado, México presenta un promedio en infraestructura por debajo de la media que tienen los países de la OCDE. Acciones que impulsen el desarrollo y la eficiencia de la infraestructura coadyuvará al despliegue de redes IoT.

Las redes de IoT forman parte de las redes públicas de telecomunicaciones en México, por lo que de acuerdo con el Art. 15 de la LFTR el IFT tiene competencia para regulación. En México, el despliegue de redes de IoT basadas en las redes telefónicas móviles existentes (principalmente de parte de AT&T y América Móvil), se fortalece al compartir la infraestructura de las redes ya existentes (radio bases y demás infraestructura fija), con estas nuevas redes de IoT. Esto representa una ventaja en el costo del despliegue, potenciando su crecimiento y desarrollo. Esta estrategia de compartición de infraestructura se impulsó el año pasado, mediante el acuerdo por el cual el Pleno del IFT aprobó los Lineamientos para el despliegue, acceso y uso compartido de infraestructura de las TyR [14], estableciendo las condiciones que permiten el acceso a la infraestructura de otros concesionarios instalada en edificios, centros comerciales o cualquier tipo de inmueble, con el propósito de promover el despliegue y fomentar la compartición en el uso de la infraestructura existente entre los concesionarios.

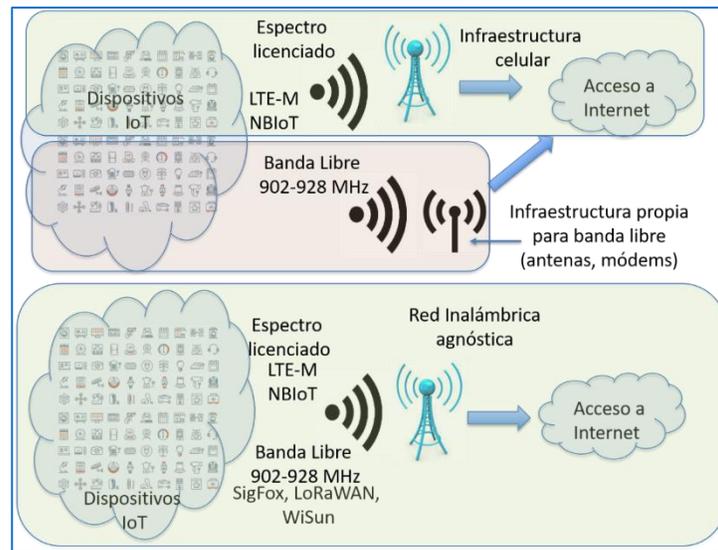
Del mismo modo, en este año la Unidad de Política Regulatoria ha llevado a cabo el relanzamiento del proyecto de un micrositio de despliegue de infraestructura. A través de este sitio se pretende brindar una herramienta de consulta a través del portal del IFT, poniendo a disposición de los interesados información relacionada con aspectos técnicos, normativos y económicos, así como de análisis y experiencia internacional, de utilidad para llevar a cabo proyectos de inversión en infraestructura al ofrecer información que facilita el despliegue de infraestructura en México. Se pretende incluir información que en su caso proporcionen las autoridades municipales: trámites y permisos de obra civil asociados a servicios de telecomunicaciones, indicadores de cobertura, estudios y análisis de corte internacional relacionados con el despliegue y compartición de infraestructura, así como la regulación existente en la materia [22]. Esta herramienta se podría complementar adicionando información relacionada con el desarrollo de infraestructura de las redes

IoT. Esta información pudiera incluir: infraestructura de proyectos que operan con estándares en bandas libres (antenas, radiobases propias, dispositivos conectados, etc.). Así mismo, se podría integrar información específica de las redes IoT que operan sobre redes celulares en bandas licenciadas, indicando regulación para su despliegue, experiencias internacionales, cantidad de redes operando y/o en desarrollo, velocidades de transmisión, número de dispositivos conectados, tecnología utilizada, etc. El impulso de proyectos que promueven la compartición de infraestructura fomentaría el desarrollo del despliegue de redes de IoT.

Así, por ejemplo, con respecto a las tecnologías LPWA (SigFox, LoRaWAN, WiSun), en México hacen uso de la banda libre de los 900 MHz (902-928 MHz), y su regulación le permite una potencia de transmisión no mayor a 1W [19]. Al contrario de las redes IoT que operan en espectros celulares licenciados y que hacen uso de la infraestructura celular existente, éstas deberán desplegar su infraestructura propia. Cada operador de estos estándares, ha implementado su propia estrategia de despliegue, dando como resultado que redes de IoT que operan en LoraWAN o Sigfox deberán instalar sus propias antenas y radio bases, independientemente de que ambas redes operen en la misma banda. El desarrollo de esquemas de compartición similar al que se desarrolla con la infraestructura celular actual pudiera hacer más eficiente esta inversión, e incluso el desarrollo de redes agnósticas que permitieran a las redes que operan en bandas libres hacer uso de las radio bases de la infraestructura celular actual sería una solución aún más eficiente. SigFox ha implementado su estrategia de desarrollo de infraestructura invirtiendo en una red propia que cubre las principales ciudades del país, instalando sus propias antenas y radiobases, como una estrategia de dar viabilidad económica a los proyectos, disminuyendo el costo de inversión inicial de estos. En el caso de LoRaWAN, su estrategia se basa en la operación autónoma del integrador de la red, teniendo un costo por nodo, donde la inversión en infraestructura se deduce del costo de cada conexión.

Actualmente está evolucionando a lo que se define como redes inalámbricas agnósticas [20]. Una evolución a este tipo de redes, permitiría a las redes IoT que operan en bandas libres hacer uso de las radio bases de la infraestructura celular existentes a través de la compartición de infraestructura, con lo que las antenas celulares de las redes 3G y 4G que operan en México, pudieran dar acceso a redes de IoT que operan en bandas libres (700 MHz), sin importar el protocolo en el que operen (funcionamiento agnóstico). Lo anterior implicaría que los proyectos a integrarse en redes que operan en bandas libres ya no tendrían que gestionar la inversión en su propia infraestructura. Los términos y condiciones para esta compartición se tendrán que analizar por el regulador. Lo descrito podría impactar en el costo global de los proyectos y traducirse en un aprovechamiento más eficiente de la infraestructura instalada actualmente. Un esquema como el descrito brindaría además a los concesionarios y autorizados que cuentan con una red propia un incentivo adicional para invertir en la mejora y ampliación de su infraestructura con el objeto de responder a la creciente demanda que estas redes pudieran presentar.

Gráfica 22. Evolución hacia redes inalámbricas agnósticas.



En la Gráfica 22 se muestra un esquema de esta evolución. Las radio bases de la infraestructura celular actual, que dan cobertura a dispositivos IoT operando bajo los estándares LTE-M y NB-IoT, ahora también podrían ofrecer conexión a los dispositivos IoT que operan en la banda libre de los 900 MHz, eliminando la necesidad de que los proyectos a implementarse en estas bandas inviertan en la implementación de su propia red. Esta evolución implicaría también una actualización de la red fija del operador de la red celular para procesar los diferentes protocolos que operan en México. Esta tendencia a la integración, es el fundamento de la evolución no solo de las redes inalámbricas, sino también de los servicios y aplicaciones que se están convirtiendo completamente agnósticos de la red móvil donde estén operando. La operación de los dispositivos y el tipo de usuario que se conecta a la red también están evolucionando hacia este concepto [20].

La introducción de redes 5G es un proceso que está iniciando y que puede tomar tiempo para que estas redes terminen consolidándose en México y en el resto de los países de América Latina. Sin embargo, aún sin considerar el impacto que esta tecnología pudiera tener en el impulso al desarrollo de redes IoT, en la actualidad se tienen condiciones para aprovechar el impulso mundial en el desarrollo de redes IoT que operan en generaciones de telefonía celular previas a 5G. En México hay condiciones de cobertura y servicio para que esto se materialice. En la actualidad, se cuenta con una teledensidad importante en banda ancha³, además de que una gran cantidad de las aplicaciones de IoT que demandan bajas tasas de transmisión y valores de latencia altas y medias pueden ser implementados en redes 2G, 3G y 4G[18], como se ha comentado en la sección II de este documento.

³ En el periodo de junio de 2013 a junio de 2019, México es el país con mayor crecimiento en teledensidad de banda ancha móvil, al pasar de 23 a 74 líneas por cada 100 habitantes, lo que representa un crecimiento de 215.7%, de acuerdo con datos de la OCDE [17]

En el país se cuenta con coberturas de la población de más del 95% para 3G y casi del 90% para 4G. La cobertura de estas redes y calidad de servicio que ofrecen pueden aprovecharse para impulsar el desarrollo de aplicaciones de IoT y, en su caso, emigrar a redes 5G cuando su desarrollo lo permita.

Relacionado con la capacidad de la infraestructura para el acceso a Internet, en el despliegue de redes masivas de IoT es fundamental promover e impulsar la transición del protocolo IPv4 al IPv6. En este sentido, la Unidad de Política Regulatoria del IFT, durante 2019 elaboró un documento de recomendaciones que fue sometido a un mecanismo de participación ciudadana con el objetivo de fortalecer y recibir comentarios de los principales agentes del entorno digital en México. Durante 2020 se elaborará la versión final del documento de recomendaciones para fomentar la adopción del IPv6 en México a partir del análisis de las opiniones y comentarios recibidos mediante el mecanismo indicado, mismo que será publicado en el portal de Internet del Instituto. La información recabada pretende contribuir a facilitar un entorno de cooperación a nivel nacional que impulse la adopción de IPv6 mediante múltiples acciones focalizadas que permitan hacer sinergia con las entidades del entorno de Internet en México a partir del intercambio de información y de experiencias. Contar con redes operando con base en el protocolo IPv6 permitirá el desarrollo de redes masivas de IoT, además de contribuir a mejorar la seguridad en las conexiones, ya que el protocolo IPv6 aporta mejoras sustanciales respecto a los estándares de seguridad, movilidad y calidad de servicio que su versión preliminar.

Respecto al espectro necesario para el desarrollo de redes IoT, el Grupo de Tareas especiales (TG 5/1) de la ITU llevó a cabo estudios para dar soporte a la implementación de infraestructuras de comunicación tipo máquina para banda estrecha y banda ancha en bandas IMT concluyendo que las aplicaciones y dispositivos IoT se pueden usar de manera efectiva en las bandas de frecuencias asignadas para las IMT. Este enfoque evita la necesidad de identificar nuevo espectro exclusivamente dedicado para aplicaciones IoT, y generar cambios en el Reglamento de Radiocomunicaciones que impliquen una sobrerregulación innecesaria y, por ende, una inhibición en su desarrollo futuro [16]. México es uno de los países en Latino América que más espectro tiene asignado en bandas IMT, con casi 600 MHz asignados para aplicaciones en las bandas de IMT, con expectativas a mediano plazo de incrementar esta asignación a un poco más de 1000 MHz [15]. Esto permite asumir que en un mediano plazo, las necesidades de espectro para el desarrollo de redes de IoT que operan en bandas celulares podrían estar cubiertas. Adicionalmente, la penetración de redes 5G en el país será un factor que brindará condiciones para el desarrollo de aplicaciones de IoT, especialmente para aquellas que demanden altas tasas de transmisión y bajos niveles de latencia. Además, la tecnología 5G tiene la capacidad para conectar un gran número de dispositivos al mismo tiempo, llegando a tolerar densidades de hasta 100 dispositivos por m², además de proveer una eficiencia energética superior en un 90% que 4G. La red 5G ha sido referida como una red de redes, que permitirá la implementación de redes que integren a todos los servicios inalámbricos, incluyendo los servicios y aplicaciones de IoT. Respecto al espectro para redes 5G, México ha identificado bandas para estas que pueden ofrecer diferentes condiciones para la implementación de redes IoT. Estas incluyen bandas en frecuencias bajas (menores a 1 GHz), que brindan mayor cobertura y capacidad limitada,

frecuencias medias (entre 1 y 6 GHz) donde la cobertura se reduce y la capacidad aumenta en comparación con las frecuencias bajas, y frecuencias altas (superiores a 6 GHz) que brindan corto alcance con muy alta velocidad de transmisión y muy baja latencia. Adicionalmente a lo anterior, cabe mencionar que la banda de 2.5 GHz ya se encuentra licitada, la banda AWS también se puede usar para 5G, la banda de 3.5 GHz ya está asignada y se planea licitar bandas en 800 MHz, 1900 MHz y una porción de 3.3 GHz. La banda de 600 MHz ya se encuentra libre para colocarla en el mercado [21]. Con lo anteriormente expuesto se puede asumir que en México las necesidades espectrales para el despliegue de redes 5G, y por ende de las redes IoT que operen haciendo uso de este estándar, están cubiertas a mediano plazo.

Adecuación del marco regulatorio

El marco regulatorio relacionado con el IoT contempla una vasta y variada temática. La conexión de dispositivos a internet por medio de estas redes crea nuevos desafíos legales y regulatorios que previamente no existían. Esta regulación afecta a todos los elementos que integran la cadena de valor de una solución IoT, y se enfoca en la protección de datos, propiedad intelectual y la Ciberseguridad. El IFT posee atribuciones para emitir disposiciones en materia de Ciberseguridad, de acuerdo a la LFTR, tal como es detallado en [38]. De este modo, el papel del IFT como promotor e impulsor de una cultura de ciberseguridad que actualmente desempeña [36], se está ampliando a las redes y sistemas de IoT. En el 2018, la Unidad de Política Regulatoria publicó el documento Plan de Acciones en Materia de Ciberseguridad [38]. El documento establece los Objetivos Estratégicos Institucionales, que detalla un marco de referencia de Seguridad para los Dispositivos e Infraestructura de telecomunicaciones, que incluye dispositivos IoT, y menciona la publicación de un nuevo esquema de certificación para productos IoT en el Procedimiento de Evaluación de la Conformidad. Adicionalmente, el instituto realiza seminarios y conferencias con especialistas en la materia, promoviendo la cultura de la ciberseguridad. La Ciberseguridad no debe verse como un limitante, sino como habilitador de la transformación digital en México. En este sentido, se proponen varias acciones de coadyuvancia que el IFT pudiera impulsar; estas se enlistan en la sección de Conclusiones y Recomendaciones.

Adopción tecnológica en la empresa, Capacidad para innovar y habilidades

En términos generales, los países latinoamericanos se encuentran rezagados en la adopción de nuevas tecnologías en el sector empresarial e industrial, la capacidad para innovar y el desarrollo de habilidades.

Una estrategia usada en varias ciudades del mundo para impulsar la innovación es la integración de bases de datos con la información que las mismas ciudades generan [38]; la información puede ser diversa, incluyendo por ejemplo datos del sistema de transporte, del monitoreo del medio ambiente, de salud pública, datos demográficos, de accesibilidad a servicios, consumo de agua y energía, etc. El acceso a esta información por parte de ciudadanos, empresas, *startups*, centro de investigación, etc., tiene el potencial de contribuir al desarrollo de productos y servicios innovadores. Esta práctica,

adoptada por varias ciudades en el mundo, ayuda a facilitar un ecosistema dinámico de información en las ciudades. Por ejemplo, en Melbourne, el gobierno construyó un portal para ofrecer información actualizada con fines no comerciales; en el portal mencionado se presenta un catálogo de datos organizados y categorizados, que brindan información sobre la infraestructura de la ciudad, economía y medio ambiente. En [38] se pueden consultar casos similares en otras ciudades del mundo. Por ejemplo, en Singapur, el portal único del gobierno que pone a disposición de las empresas la información generada por 70 organismos ha sido el insumo para la creación de más de 100 aplicaciones.

En nuestro país no se están llevando a cabo acciones encaminadas al desarrollo de escenarios como el descrito en el párrafo previo. El IFT puede reforzar su labor como un importante referente en lo que respecta a la difusión de información y conocimiento de la tecnología IoT, constituyéndose como una fuente de información relevante y actualizada de proyectos IoT desarrollados y en proceso en México y en el mundo. Así mismo, puede ser un reforzar su papel como referente en la integración y organización de información técnica, que puede ser una herramienta útil para el desarrollo de sistemas IoT. El instituto pudiera ser el principal coadyuvante en la integración de un portal único, que permita a las empresas y desarrolladores tener acceso a la información pública que la administración genera.

Impacto en las Actividades Económicas

Dadas las actuales circunstancias económicas en el país y el mundo por la crisis derivada de la pandemia del COVID-19, los análisis prospectivos de la evolución de las economías resultan inciertos. Sin embargo, creemos que el impacto económico del uso de la tecnología IoT descrito en este documento no solo sigue siendo vigente, sino que la actual crisis puede un detonante más para impulsar estrategias tendientes a incrementar la eficiencia en los sistemas productivos; el IoT puede tomar un papel protagónico en este impulso.

Como se ha descrito en el presente documento, el uso del IoT es un potenciador del crecimiento y desarrollo de las actividades económicas, influyendo de manera transversal prácticamente en todos los sectores. No obstante que en la bibliografía se reportan proyectos prácticamente en cualquier área, este potencial es diferente para cada sector y actividades. Esta diferencia está basada en la tecnología disponible, experiencia colectada de proyectos realizados, así como de las características, recursos y necesidades de cada país.

En los estudios y estimaciones consultados para el presente trabajo, se identificaron estudios prospectivos del impacto del IoT en los diferentes sectores económicos con resultados diversos. De acuerdo con [38], existe la necesidad de llevar a cabo un proceso de homologación y estandarización de los indicadores a usar para evaluar este impacto, con el objeto de realizar análisis cuantitativos, que permitan evaluar su desempeño, contribuyendo con esto a la identificación las áreas de oportunidad de cada país. La mayoría de los estudios consultados resaltan principalmente el impacto

del IoT en el incremento de la producción; sin embargo, existen otros beneficios que pueden no estar capturados en las estimaciones consultadas, como pueden ser los impactos al medio ambiente (emisiones de CO₂, uso eficiente de agua y energía, etc.), ahorros en la provisión de servicios públicos y privados (incremento y mejora en la cobertura de salud), disminución del tráfico en aplicaciones para el transporte con el consecuente beneficio de menores tiempos de traslado de las personas, reducción de la huella de carbono, etc.

En la integración de una estrategia nacional que permita impulsar el desarrollo de políticas y regulaciones que estimulen el desarrollo del IoT en México, es imprescindible la participación de la administración pública, como lo demuestran las iniciativas llevadas a cabo en otros países [5][8]. La gestión de esta estrategia deberá estar a cargo de una entidad responsable de todo el proceso, y debe contar con las capacidades técnicas necesarias, así como operar con independencia en la toma de decisiones, en función de los objetivos que dicha estrategia plantee, mediante la integración de indicadores precisos y cuantificables. Una alternativa que se considera viable en esta línea es la propuesta por la GSMA en [38], donde detalla, desde su visión, algunas de las líneas de acción para la formulación de políticas públicas para el IoT. Estas acciones están basadas en 7 rubros: priorizar Sectores y Objetivos, la existencia de un Marco Normativo de Ciberseguridad y Privacidad, Fomento de la Demanda, Financiamiento, Marco institucional y Autoridad responsable.

La base para el éxito de la estrategia mencionada es el Marco Institucional y Autoridad Responsable; a partir de estos se puede analizar el estatus y desarrollo de los otros rubros. En varios de los aspectos mencionados en la estrategia, en México se están haciendo avances significativos, como es el caso de las recomendaciones de Ciberseguridad y la normativa existente de protección de datos personales. Sin embargo, la desarticulación de los esfuerzos que se llevan a cabo en cada rubro pudieran aprovecharse mejor si estos se integraran en un plan global, con objetivos y fines claros. En la definición de los Sectores y Objetivos, podemos ver que la industria de la manufactura (que aporta el 16% del PIB nacional), tiene las condiciones para crecer aún, aprovechando la experiencia y tecnología disponible de los proyectos que se realizan en el mundo (como se mostró, un alto porcentaje de proyectos IoT realizados y en planes están se encuentran en este sector). Además, existe evidencia de proyectos exitosos en otros países, que pudieran impulsar aquellas áreas en las que México tiene un gran potencial como la agricultura y el turismo.

En términos generales, el análisis presentado permite mostrar la utilidad de un programa nacional que permita el diseño de estrategias para el fomento y desarrollo de redes y aplicaciones de IoT. El IFT, dado su conocimiento, experiencia y capacidad, pudiera ser uno de los principales promotores para la integración de un programa de este tipo.

VIII. Conclusiones y Recomendaciones

El impacto del IoT en todas las actividades cotidianas es un hecho consumado, y este efecto se hará cada vez más patente a lo largo de los siguientes años. En la actualidad, México se encuentra ante una gran oportunidad de aprovechar este impulso y dinámica que se está dando en el mundo a la innovación tecnológica. La tecnología IoT disponible en el mundo (en los proyectos realizados y proyectados), permite afirmar que las actividades como la manufactura en México (con el 16% de aportación al PIB nacional) pudieran desarrollarse aún más. Actividades primarias como la agricultura, cuya aportación al PIB nacional es del 3% tiene un gran potencial de crecimiento, debido a las soluciones disponibles en el mercado y a la gran cantidad de recursos en el país.

Existe una clara ausencia de información de parte de las administraciones de los países respecto a los proyectos de IoT que se están realizando. La información publicada, cuando está disponible, en muchos casos no está basada en indicadores homologados que permitan llevar a cabo análisis comparativos. Existen esfuerzos dignos de reconocimiento como el índice de IoT citado en este estudio. Esfuerzos similares, armonizados y homologados por varios países debería ser la ruta a seguir.

La seguridad en las redes y dispositivos IoT es la principal preocupación de las empresas y usuarios; esta se constituye en uno de los principales obstáculos al momento de tomar la decisión de implementar proyectos de este tipo. Las regulaciones en materia de IoT están en proceso de elaboración e implementación, y la totalidad de las propuestas que se están haciendo tienen como prioridad el tema de la seguridad y privacidad de la información.

En el caso de nuestro país, se han hecho grandes avances en la promoción y desarrollo de las TICs, y creemos firmemente que es el momento de emprender acciones encaminadas a la integración de una estrategia nacional como la descrita, con el objeto de cimentar el desarrollo y aprovechamiento que el IoT ofrece.

Con base al análisis presentado en el estudio, se enlistan algunas oportunidades y líneas de acción que se pudieran considerar:

- Impulsar el desarrollo de una **Estrategia Nacional para el Desarrollo del IoT**. Esta estrategia pudiera tomar como base algunos de los elementos descritos en el presente trabajo. Este podría contemplar la elaboración de lineamientos de ciberseguridad y mejores prácticas para los dispositivos de IoT, así como lineamientos de seguridad para IoT. También podría considerar la compartición de infraestructura para los proyectos de IoT a integrarse en redes que operan en bandas libres, a fin de que no tengan que gestionar la inversión en sus propias radio bases.

- Promover el impulso del desarrollo de **herramientas informáticas abiertas** que permitan a los usuarios evaluar la vulnerabilidad de su equipo/red.
- Aprovechar el micrositio de despliegue de infraestructura del IFT adicionando información relacionada con el desarrollo de **infraestructura de las redes IoT**.
- Continuar y reforzar la **gestión del espectro** realizada hasta la fecha.
- Eventualmente, podrá promoverse la integración de un **Portal Único de Información sobre Redes de IoT** en México, que permita concentrar información referente a la cantidad de redes, equipos y dispositivos conectados, tecnologías usadas, velocidades, latencias, etc. Así mismo, se puede incluir información técnica y de la regulación vigente en el país.
- Promover la realización de **reconocimientos a la investigación básica y avanzada** que se lleva a cabo en el país.
- Fomentar los mecanismos para el **desarrollo de startups con base tecnológica**, mediante la promoción de sus desarrollos, enlaces con empresas, información, etc.

Bibliografía.

- [1] <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/>
- [2] <http://www.logisticamx.enfasis.com/notas/81127-tiene-industria-automotriz-impacto-pib-mexico>
- [3] La incorporación de la Industria 4.0 en el sector de autopartes en Nuevo León, México. Karla María Nava Aguirre, Juan Gil Silva Ábrego, Alejandra Guajardo García, Orlando Uriel Leyva Velázquez, Carol Yareslie Torres Camarillo. Universidad de Monterrey. 2019.
- [4] Industria Automotriz. CISCO, Rockwell Automation, Panduit, et al. 2019.
- [5] IoT en ALC 2019: Tomando el pulso al internet de las cosas en América Latina y el Caribe. Rafael Pérez Collón, Sergio Navajas, Elizabeth Therry. Banco Interamericano de Desarrollo. 2019.
- [6] <https://grupogaratu.com/que-es-y-que-aporta-la-industria-4-0/>
- [7] The contribution of the IoT to economic growth. Modelling the impact on business productivity. GSMA Intelligence. April 2019.
- [8] IoT para el sector empresarial en América Latina. Deloitte. Publicado por Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina. Julio 2018.
- [9] Industria Electrónica. Ficha Sectorial. Mayo 2018. IIEG Jalisco.

- [10] <https://signalsiot.com/agricultura-lidera-proyectos-en-centro-de-innovacion-iot-de-mexico/>
- [11] Comportamiento del PIB Agroalimentario al cuarto trimestre de 2019. Secretaria de Agricultura y desarrollo rural. 2019
- [12] <https://qampo.es/la-agricultura-de-precision/>
- [13] <https://es.statista.com/estadisticas/585037/aportacion-al-pib-trimestral-de-las-actividades-economicas-mexico/>
- [14] Lineamientos para el despliegue, Acceso y Uso Compartido de Infraestructura de Telecomunicaciones y Radiodifusión. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5583940&fecha=15/01/2020#:~:text=los%20acr%C3%B3nimos%20relacionados.,El%20objetivo%20de%20los%20Lineamientos%20es%20la%20promoci%C3%B3n%20del%20despliegue,instalada%20en%20edificios%2C%20centros%20comerciales%2C
- [15] http://www.ift.org.mx/sites/default/files/imt_en_mexico_febrero_2019.pdf
- [16] Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta Generación. Unidad de Espectro Radioeléctrico. IFT. Marzo 2019
- [17] <http://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/es/mexico-entre-los-paises-con-mayor-crecimiento-en-teledensidad-de-banda-ancha-movil-ocde-comunicado>
- [18] Ericsson (2019), Ericsson Mobility Report. June 2019. Página (8). Disponible en: <https://www.ericsson.com/49d1d9/assets/local/mobility-report/documents/2019/ericsson-mobility-report-june-2019.pdf>
- [19] Inventario de Bandas de Frecuencias clasificadas como libres. Instituto Federal de Telecomunicaciones. Octubre 2018. <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenido-general/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasdeusolibrev.pdf>
- [20] Una red de redes. ¿Cómo los portadores manejarán la evolución hacia 5G?. Deloitte University Press. Junio 2017. [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/technology/Una%20red%20de%20redes%20\(Junio%202017\)%2081357.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/co/Documents/technology/Una%20red%20de%20redes%20(Junio%202017)%2081357.pdf)
- [21] <https://digitalpolicylaw.com/ramiro-camacho-preve-comparticion-de-espectro-para-5g-en-mexico/>
- [22] The Internet of things. A technical primer. Deloitte Insights. 2018. https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4420_IoT-primer/DI_IoT-Primer.pdf

- [23] Programa Anual de Trabajo 2020. Instituto Federal de Telecomunicaciones. <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/consejo-de-transparencia/pat2020.pdf>
- [24] The estate of IoT-2019. Informatech. Alexandra Rehak, Ovum & Steve Bell, Heavy Reading. 14 May 2019.
- [25] <https://www.chakray.com/es/iot-4-casos-de-exito-del-internet-de-las-cosas/>
- [26] Dándole sentido al IoT. Cómo el IoT se convirtió en el sistema nervioso de la humanidad. Kevin Ashton. Hewlett Packard Enterprise https://www.arubanetworks.com/assets/es/eo/HPE_Aruba_IoT_eBook.pdf
- [27] <https://expansion.mx/tecnologia/2017/05/23/iot-permite-que-economias-crezcan-pero-las-mayoria-de-los-proyectos-fallan>
- [28] Wanted: Smart market-maker for the “Internet of Things” Ansgar Schlautmann, Didier Levy, Stuart Keeping and Gregory Pankert. https://www.adlittle.com/sites/default/files/prism/ADL_Smart_market-makers.pdf
- [29] <https://www.statista.com/statistics/965380/industrial-iot-market-value-mexico/>
- [30] IoT Deployment Database. Global Data. <https://www.globaldata.com/>
- [31] Análisis Exploratorio de la Comercialización de servicios de conectividad para IoT. Coordinación General de Planeación Estratégica. Instituto Federal de Telecomunicaciones. <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/analisisexploratorio-iot.pdf>
- [32] <https://www.wndgroup.io/mexico/>
- [33] <https://www.hablemosdelcampo.com/campo-mexicano-estados-con-mayor-actividad-agricola/>
- [34] Ciudades Inteligentes e Internet de las cosas: Como fomentar su desarrollo en América Latina. GSMA.
- [35] [https://ciberseguridad.com/normativa/latinoamerica/mexico/#:~:text=A%20continuaci%C3%B3n%20se%20incluye%20una,Telecomunicaciones%20y%20Radiodifusi%C3%B3n%20\(FTBL\)%3B](https://ciberseguridad.com/normativa/latinoamerica/mexico/#:~:text=A%20continuaci%C3%B3n%20se%20incluye%20una,Telecomunicaciones%20y%20Radiodifusi%C3%B3n%20(FTBL)%3B)
- [36] <http://www.ift.org.mx/portalusuarios>
- [37] Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_240120.pdf

- [38] Plan de Acciones en Materia de Ciberseguridad. Unidad de Política Regulatoria. IFT. http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/transparencia/upr-planacciones_ciberseguridad.pdf
- [39] Ciudades Inteligentes e Internet de las Cosas: cómo fomentar su desarrollo en América Latina. Phillipe Moura , Stefano Nicoletti. GSMA.
- [40] Internet of Things Regulation. Andres Moura Gomes. Cullen-International. May 2020. <https://www.cullen-international.com/product/documents/CTECLN20200009>
- [41] eSIM Whitepaper. The what and how of Remote SIM Provising. GSMA. March 2018. <https://www.gsma.com/esim/wp-content/uploads/2018/12/esim-whitepaper.pdf>
- [42] <https://www.cullen-international.com/product/documents/FLECAR20190004>
- [43] <https://www.cullen-international.com/product/documents/FLECAR20180005>
- [44] http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/D9854.htm
- [45] <https://www.subtel.gob.cl/gobierno-abrira-permisos-experimentales-para-despliegue-de-5g-en-industrias-inteligentes/>
- [46] <https://www.cullen-international.com/product/documents/FLECGB20180003>
- [47] <https://www.tynmagazine.com/la-comision-europea-armoniza-las-frecuencias-para-iot-de-corto-alcance/>

