

**Estrategia para la digitalización
del sector productivo mediante el uso
de la Internet de las COSAS en
los países de la Comisión Técnica
Regional de Telecomunicaciones
de Centroamérica (COMTELCA)**

Omar de León



NACIONES UNIDAS

CEPAL



DESARROLLO en transición



Instrumento regional
de la Unión Europea

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

Estrategia para la digitalización del sector productivo mediante el uso de la Internet de las cosas en los países de la Comisión Técnica Regional de Telecomunicaciones de Centroamérica (COMTELCA)

Omar de León



NACIONES UNIDAS



DESARROLLO en transición



Instrumento regional
de la Unión Europea

Este documento fue preparado por Omar de León, Consultor de la División de Desarrollo Productivo y Empresarial de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la supervisión de Edwin Fernando Rojas, Asistente Superior de Asuntos Económicos de la misma División, en el marco de las actividades del Pilar I "Apoyo al diálogo regional de alto nivel sobre desafíos de desarrollo - Perspectivas Económicas de América Latina (LEO)" del proyecto del Mecanismo Regional para el Desarrollo en Transición (*Regional Facility for Development in Transition*) financiado por la Unión Europea.

Ni la Unión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre es responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en esta publicación. Los puntos de vista expresados en este estudio son del autor y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Unión Europea.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2021/148
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2021
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.21-00676

Esta publicación debe citarse como: O. de León, "Estrategia para la digitalización del sector productivo mediante el uso de la Internet de las cosas en los países de la Comisión Técnica Regional de Telecomunicaciones de Centroamérica (COMTELCA)", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2021/148), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2021.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Introducción.....	7
I. Análisis general de la Internet de la Cosas (IoT) y la 5G.....	9
II. Caracterización y desarrollo previsible de la 5G.....	11
A. Principales prestaciones de la 5G.....	11
B. Situación actual y despliegue de la 5G y la 4G.....	12
1. Situación actual.....	12
2. Tendencias en los despliegues de 4G y 5G en el mundo.....	13
C. Participación de las grandes plataformas en la infraestructura 5G.....	13
D. Principales ejes en la prestación de servicios 5G. Impacto socio económico.....	14
E. Redes privadas. 5G como plataforma para nuevos modelos de negocio de las industrias tradicionales.....	15
F. Costos estimados para el despliegue de las redes 5G.....	17
1. Tipos de despliegues y costos asociados.....	17
2. Acceso fijo inalámbrico y su comparación con los accesos cableados.....	17
3. Conclusiones sobre costos.....	18
G. Algunos asuntos relevantes de la 5G.....	19
1. Compartición de infraestructura.....	19
2. Open RAN.....	20
3. Virtualización y orquestación.....	20
H. Condiciones para atraer la inversión.....	21
III. Internet de las Cosas.....	23
A. Impacto de la IoT en el desarrollo económico y social.....	23
B. Conceptos principales sobre la IoT y la Industria y los servicios avanzados.....	25
C. El papel de las plataformas centrales de los sistemas de IoT.....	27
D. Modalidad de provisión de la IoT como servicio (IoTaaS).....	28

E.	Tecnologías de acceso para la IoT.....	29
1.	Accesos fijos.....	29
2.	Accesos inalámbricos.....	29
3.	Tecnologías de acceso inalámbrico IoT Móviles o del 3GPP.....	30
4.	Tecnologías de acceso inalámbrico LPWAN no 3GPP.....	32
F.	Modelos de negocio, infraestructuras y recursos de core.....	35
G.	Despliegues en diferentes geografías u operadores. Dificultades y soluciones.....	35
H.	Costos referenciales.....	36
IV.	Desarrollo actual y proyecciones de crecimiento de la IoT en los países de COMTELCA.....	37
A.	Definición y clasificación de la IoT.....	37
B.	Despliegues comerciales actuales de tecnologías de acceso IoT en los países de COMTELCA.....	38
C.	México.....	39
1.	Redes móviles.....	39
2.	Otras redes LPWAN de IoT.....	41
D.	Países de COMTELCA menos México.....	41
1.	Redes móviles.....	41
2.	Otras redes LPWAN de IoT.....	41
3.	Distribución del gasto en IoT en Latinoamérica.....	42
E.	Conclusiones.....	42
V.	Estimación del impacto de la IoT en el desarrollo económico.....	43
A.	Visión cualitativa: IoT, servicios avanzados e Industria 4.0.....	43
1.	Cambios progresivos en la producción.....	44
2.	Visión social.....	44
3.	Impacto de la Industria 4.0 en las capacidades dinámicas.....	45
4.	Impacto en empresas y sectores.....	46
5.	Impacto de la IoT en la optimización de los servicios y en la servitización de los productos.....	47
B.	Visión cuantitativa: IoT, servicios avanzados e Industria 4.0.....	50
1.	Aspectos metodológicos generales.....	50
2.	Estimaciones del impacto económico.....	52
3.	Conclusiones generales sobre el impacto.....	56
4.	Conclusiones para los países de COMTELCA.....	56
VI.	Propuestas para las políticas y el tratamiento legal y regulatorio.....	57
A.	Antecedentes.....	58
1.	Unión Internacional de Telecomunicaciones.....	58
2.	CITEL.....	59
3.	Australia.....	60
4.	Estados Unidos (EEUU).....	63
5.	Brasil.....	65
6.	Unión Europea.....	67
7.	Organización de Cooperación y Desarrollo Económico.....	72
B.	Propuestas de políticas y reglamentaciones para el despliegue de la IoT.....	75
1.	Creación de una estructura de gobernanza.....	75
2.	Políticas relativas a la educación y la formación permanente.....	76
3.	Revisión de políticas y reglamentaciones relativas a la IoT.....	78
4.	Armonización e interoperabilidad.....	78
5.	Cooperación entre las partes interesadas.....	80

6.	IPv6 y sistemas de identificación numérica de los dispositivos	81
7.	Política de impulso propio gubernamental y de estímulo de la demanda	81
8.	Políticas para la gestión de datos generados en la IoT	82
9.	Políticas de seguridad	83
10.	Think Tank asesor	83
11.	Gestión del espectro radioeléctrico	84
VII.	Sectores con mayor impacto de la IoT en los países de COMTELCA	85
A.	Distribución del gasto en IoT en México y sectores prioritarios	85
B.	Distribución del gasto en IoT en los demás países de COMTELCA y sectores prioritarios	87
	Bibliografía	89

Cuadros

Cuadro 1	Costo de la cobertura por habitante en Gran Bretaña	18
Cuadro 2	Bandas principales de uso para 5G y sus características	22
Cuadro 3	Prestaciones principales de las dos tecnologías actuales de LPWAN del 3GPP	31
Cuadro 4	CAPEX y OPEX estimados de despliegue de LTE – IoT	36
Cuadro 5	Teledensidad en países seleccionados de la OECD	40
Cuadro 6	CAPEX agregado en LPWAN para México	41
Cuadro 7	Distribución consolidada de CAPEX de IoT en países seleccionados	42
Cuadro 8	Distribución consolidada del gasto en IoT en México	86
Cuadro 9	Tasa porcentual anual de crecimiento de la Productividad Total de los Factores en México	86

Gráfico

Gráfico 1	Impacto de la compartición de infraestructura en Gran Bretaña	19
-----------	---	----

Diagrama

Diagrama 1	Aplicaciones de 5G y de Internet de las cosas	10
------------	---	----

Introducción

La Internet de las Cosas (IoT), que es principalmente una constelación de tecnologías destinadas a la digitalización y automatización, está soportada en las redes inalámbricas para su conectividad. La tecnología móvil 5G, analizada brevemente en este documento, si bien no es necesaria para las aplicaciones no críticas como las que usan los sensores o actuadores de baja información intercambiada o las que no son sensibles al retardo, desempeña un papel esencial, *sine qua non*, para el avance de la IoT en aplicaciones críticas entre las que se encuentran la automatización industrial, la movilidad autónoma o asistida y los servicios de salud, entre otros.

En este documento se realiza una revisión de la 5G con foco en los aspectos más relevantes: principales prestaciones, redes privadas destinadas a aplicaciones críticas, costos estimados de despliegue y elementos destacados de políticas para su desarrollo.

En relación a la IoT, se presenta su impacto en la industria y los servicios avanzados, su estructura de plataformas, las características propias de los diferentes tipos de acceso, los modelos de negocio y los costos referenciales estimados.

Para estimar el impacto económico y social de la IoT se presentan dos visiones, la cualitativa y la cuantitativa. La visión cualitativa presenta aquellos aspectos más relevantes con relación al impacto en general, y principalmente en elementos no cuantificables. La visión cuantitativa presenta los estudios más avanzados en el mundo sobre estimaciones del impacto, que en general está correlacionado causalmente con la teledensidad de los dispositivos de IoT. En ésta se incluye también una visión que muestra los impactos indirectos, no relacionados a la teledensidad, relacionados con algunos de los impactos cualitativos analizados.

Se incluye una amplia propuesta para las políticas y el tratamiento legal y regulatorio para el desarrollo de la IoT, respaldado en fundamentos conceptuales y en el análisis de las Mejores Prácticas.

Se presentan en la última sección aquellos sectores que se entiende que serán los más impactados, y por tanto los más beneficiados por el uso de IoT en los países de COMTELCA.

I. Análisis general de la Internet de la Cosas (IoT) y la 5G

Estas dos líneas de desarrollo tecnológico tienen una gran riqueza conceptual y está, cada una de ellas, montada a su vez en múltiples tecnologías.

En este trabajo, se entienda a la Internet de las Cosas (IoT) como una constelación de tecnologías que convergen bajo el paraguas de cosas conectadas, casi siempre a través de la Internet sin procesamiento humano, y que mediante la aplicación de múltiples tecnologías (Inteligencia Artificial, Machine Learning, dispositivos ciber físicos como los robots, etc.) generan un potencial muy importante para el desarrollo económico y social. La llamada Industria 4.0, la logística avanzada también llamada a veces 4.0, la salud avanzada, la agricultura, la minería y otros verticales se ven directamente impactados por la IoT.

Por otro lado, la 5G, o quinta generación móvil, o IMT 2020 en la nomenclatura de Unión Internacional de Telecomunicaciones, es un sistema completo e innovador de comunicaciones inalámbricas móviles (o fijas según la aplicación) que introduce un cambio conceptual en las prestaciones (computación en el borde, segmentación de la red, ultra disponibilidad, bajos retardos y otros), como se verá en este trabajo.

La 5G permitirá un avance importante en las aplicaciones de la IoT, principalmente en la industria automatizada y controlada, en la salud, en la industria de vehículos autónomos o asistidos, en las ciudades inteligentes, y en general en todas las aplicaciones críticas que requieren bajos retardos, gran confiabilidad, gran ancho de banda y calidad segmentada de servicio, entre otras prestaciones.

La IoT y la 5G tienen una dependencia mutua en el contacto tangencial de servicios basados en ambas "tecnologías", pero cada una por separado comprende importantes grupos de avanzados servicios para el desarrollo socio económico, mucho más amplios que en sus puntos de contacto.

La siguiente gráfica ilustra el concepto en forma simple y resumida.

Diagrama 1
Aplicaciones de 5G y de Internet de las cosas

Internet de las cosas Uso de redes 2G – 3G - 4G Uso de redes no 3GPP No requieren 5G Múltiples usos no críticos Agricultura, controles y actuadores de bajo tráfico, casas inteligentes, mantenimiento, otros.	IoT y 5G Aplicaciones críticas Plantas robotizadas Sistemas de salud con imágenes y asistencia remota. Otros	5G Banda ancha fija. eMBB Banda ancha móvil. eMBB Difusión de contenido Juegos en línea Trabajos asistidos con realidad aumentada. Otros
--	---	---

Fuente: Elaboración propia.

II. Caracterización y desarrollo previsible de la 5G

A. Principales prestaciones de la 5G

La 5G, aparte de proveer servicios de banda ancha con especificaciones avanzadas para usos múltiples, surge de un diseño orientado a satisfacer los requerimientos propios de la IoT.

La 5G permite la provisión de conexiones de gran velocidad de datos o eMBB (Banda Ancha Móvil Mejorada), que en conexiones fijas puede sustituir a la fibra óptica (FO), y además permite reducciones de costos en greenfield. Por ser inalámbrica no se incurre en los costos hundidos del despliegue de una red fija para generar sitios pasados para su conexión posterior, sino que alcanza con proveer cobertura con radiobases, reduciendo sustancialmente la inversión inicial.

Por otra parte, los siguientes requerimientos principales de la IoT son satisfechos por la 5G y no pueden ser atendidos ni total ni parcialmente por las tecnologías anteriores como la 4G, aun incluyendo sus versiones avanzadas:

- Alta velocidad de transporte de datos del orden de más de 1 Gbps. en una sola banda, en el tradicional “cuello de botella” del acceso.
- Retardos del orden de 1 ms o menos en el acceso radio y ultra confiabilidad (URLLC) como para soportar aplicaciones críticas (telemedicina, control de procesos industriales precisos y de rápida respuesta, aplicaciones sobre móviles como ser los vehículos autónomos, etc.).
- Computación en el Borde (Edge Computing). Si bien no es exclusiva de la 5G, ésta provee retardos muy bajos y soporta gran cantidad de dispositivos conectados a alta velocidad en la misma radiobase, lo que requiere gran poder de procesamiento junto a los dispositivos para evitar el transporte a la nube por su costo y su retardo agregado, por lo que la computación en el borde (dispositivos y red) es esencial para su operación eficiente. La computación en el borde provee mayor seguridad de datos para los clientes y menos tráfico en la red.

- Soporte de importantes cantidades de dispositivos bajo la misma radiobase.
- Provisión de servicios que corren de extremo a extremo con aplicaciones distintas, o distintos requerimientos de calidad, usando la Segmentación de la Red ("Network Slicing") en sus diversas capas.
- Subconjunto completo de prestaciones para instalar redes privadas como son requeridas en empresas, servicios críticos, y otros.

B. Situación actual y despliegue de la 5G y la 4G

1. Situación actual

A pesar de que la 4G provee muchos requerimientos avanzados como altas velocidades y soporte para aplicaciones masivas no críticas de la IoT (mMTC o Massive Machine Type Communications), lo que permite una evolución de los operadores más gradual a la 5G monetizando las inversiones realizadas, cada día se acelera más la migración hacia la 5G. Los operadores con diferentes perspectivas de tiempo de despliegue pueden hacer foco en la provisión de banda ancha avanzada (eMBB) desplegando redes 5G apoyadas en las redes 4G (Non Stand Alone o NSA 5G), o si desean explotar al máximo las prestaciones de la 5G, ir directamente a una red totalmente 5G (Stand Alone o SA 5G) que incluye hasta la virtualización del núcleo de la red.

Con variaciones entre países, se observa un firme avance en el camino del despliegue de 5G, junto con la extensión de cobertura 4G incluyendo sus versiones Advanced (LTE A) y Advanced Pro (LTE A – Pro), principalmente en Latinoamérica, así como de los accesos para la IoT, dependiendo de los casos de negocio de los operadores. También se observan operadores que no han desplegado LTE – A o LTE A – Pro y que estarían analizando pasar directamente a 5G.

Considerando el tiempo extenso que se requiere para obtener el retorno sobre las inversiones y los altos costos de despliegues masivos de 5G, es esperable que se adopten políticas para impulsar su desarrollo considerando las ventajas que tendrían para la ciudadanía, adicionalmente a los intereses propios de los operadores.

En cuanto a la 5G, existen diversas razones y casos de negocio que justifican su despliegue:

- Necesidad de los operadores de ganar imagen para mejorar los negocios actuales y futuros.
- Políticas para la satisfacción de la demanda de banda ancha de alta velocidad para uso fijo (FWA) o "hot spots". En este sentido competirán con la fibra óptica con ventajas al tener menores costos hundidos.
- Satisfacción de la demanda de importante velocidad de acceso para servicios móviles. Este punto está estrechamente ligado a que exista oferta de abundante cantidad de dispositivos móviles con acceso 5G.
- Demanda de IoT en aplicaciones críticas que solo puedan ser satisfechas por la 5G, o en redes privadas que se están potenciando en su demanda.
- Formulación de políticas gubernamentales que favorezcan el desarrollo de la IoT en forma transversal.

2. Tendencias en los despliegues de 4G y 5G en el mundo

Si bien la LTE ha avanzado a través de varias versiones ("Releases") de la 3GPP que proveen mejoras a través de LTE-Advanced y LTE-Advanced Pro, a partir del "Release" 15 los operadores han empezado el despliegue de 5G, primero integrado con la red LTE (NSA 5G) y luego migrando a redes totalmente 5G (SA 5G).

De acuerdo con datos provistos por GSA en marzo de 2021, frente a 807 operadores de redes LTE proveyendo acceso móvil o fijo en 240 países, ya existen 428 operadores en 132 países invirtiendo en 5G móvil o 5G fijo para redes de banda ancha residencial o empresarial (eMBB). Al mismo tiempo, para fines de febrero de 2021 están comercialmente disponibles 306 modelos de teléfonos 5G y 47 dispositivos terminales de banda ancha fija 5G (FWA CPE).

En cuanto a suscriptores, a fines de 2020 hubo un crecimiento interanual del 9,3% en LTE, en tanto que en 5G el crecimiento trimestral fue de 57%. Ya a fines de marzo de 2021 la GSA ha identificado 68 operadores en 38 países invirtiendo en redes SA 5G.

Según 5G Américas¹ la tasa de adopción a diciembre de 2020 es tres veces la de LTE, tecnología a la que le llevó 5 años llegar a la adopción corriente de 5G. Aparte de la disponibilidad de dispositivos, y principalmente para banda ancha fija, los gobiernos están propiciando los despliegues asignando espectro, con proyectos de incubadora 5G e incentivos para ensayos, lo que está ayudando al despliegue acelerado de 5G. De acuerdo con este documento ya existen 13 redes 5G en Latinoamérica y el Caribe. Además, establece que 105 redes 5G fueron activadas en 2020 hasta un total del 163, esperando llegar a 277 a fines de 2021.

Esta información muestra los importantes avances en los despliegues de 5G en el mundo, los que se verán incrementados cuando se desarrollen las comunicaciones máquina a máquina que requieran las especificaciones especiales de la 5G Stand Alone, o sea con toda la red en 5G y no solamente los accesos.

C. Participación de las grandes plataformas en la infraestructura 5G

Tanto la virtualización de las infraestructuras de telecomunicaciones, sin duda ineludible en la 5G, como el despliegue de la computación en el borde (más niebla y nube), han atraído a las grandes plataformas de servicios en la nube como Microsoft Azure, Amazon Web Services (con Wavelength) y Google Cloud (con Anthos). Su participación en este ecosistema tiene múltiples facetas: prestación directa de servicios a los clientes finales, prestación mayorista a los operadores de telecomunicaciones y coparticipación con los "vendors" en estas actividades. Se destaca la importancia observada que los operadores otorgan a estas plataformas para simplificar (o permitir) su entrada a los mercados, pero manteniendo en general el modelo de multi proveedor, considerando la criticidad de este suministro. Tres factores llevan a esta política: no depender de un único proveedor por razones estratégicas, dar opciones a sus clientes empresariales, o simplemente generar competencia en esta facilidad crítica.

Desde el punto de vista de los servicios en sí, estas grandes empresas están avanzando en forma muy importante proveyendo la infraestructura completa para las herramientas de gestión del tráfico y de las redes, casi exclusivamente en la 5G, para las redes privadas empresariales en general y cualquiera sea la modalidad de propiedad y operación, y para el amplio espectro de la Internet de las Cosas.

Esa provisión de servicios empresariales completos los coloca además en competencia directa con los operadores, los que, a través del tratamiento multi proveedor buscan neutralizar la competencia con ellos mismos.

¹ <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/03/25/2199605/0/en/5G-Achieves-Mass-Market-Appeal.html>.

Algunos movimientos recientes como la compra de Affirmed Networks² (proveedor de funciones virtualizadas de Core –vEPC– de los operadores) por Microsoft, que cuenta como clientes a Vodafone, Orange, Digicel, Millicom y muchos otros más, muestra solo un ejemplo del posicionamiento estratégico de estas grandes plataformas. A este tipo de acciones se agrega el anuncio de Microsoft de establecer sus “Azure Edge Zones”, comercializadas en este momento en sociedad con los operadores, como plataformas Stand Alone en varias ciudades en 2022.

Estas acciones serán bastante comunes en el futuro próximo junto con el suministro de redes privadas Stand Alone usando espectro licenciado o no licenciado.

Aún no está definido el modelo de negocio en este sector crucial del ecosistema de la 5G y la IoT, y se podrían ver múltiples alternativas de despliegue, invadiendo, sin duda, el mercado de los operadores móviles.

A nivel macro existen oportunidades de negocio para ambas industrias y ellas se necesitan mutuamente.

D. Principales ejes en la prestación de servicios 5G. Impacto socio económico

Los tres ejes principales de la demanda de 5G tienen diferente grado de desarrollo actual, pero en cualquier caso estarán revolucionando la experiencia del usuario.

- i) eMBB. Es la banda ancha móvil mejorada que puede ser empleada para accesos fijos. Es común que los primeros despliegues de 5G incluyan exclusiva o parcialmente la banda ancha fija, pero en todo caso como oferta ineludible para el inicio. En Latinoamérica, los accesos eMBB fijos permitirían extender la banda ancha comparable con la de los accesos fijos por cable o fibra óptica, con ventajas importantes por la baja relación de costos de despliegue fijos a costos variables por abonado, debido a sus menores costos hundidos. Los costos relativos de ambas tecnologías, inalámbrica y cableada, se estiman en este documento. Un aspecto importante para este servicio es el espectro, ya que es necesario que los países atribuyan y asignen espectro en bandas medias para cobertura general en zonas densamente pobladas, suburbanas, rurales y dispersas, y bandas milimétricas para zonas densamente pobladas. Adicionalmente la capacidad de las bandas medias asignadas debería permitir el backhaul entre las radiobases y los Puntos de Presencia para evitar el despliegue costoso de fibra óptica, usando Acceso y Backhaul Integrados (IAB). La importancia de disponer de ambas bandas surge de que se estima que el tráfico se repartirá por partes iguales en ambos rangos en las zonas densas. La disponibilidad de accesos eMBB permiten a los operadores la prestación de servicios adicionales como el streaming, en sociedad o no con grandes proveedores de contenido y juegos. El foco de esta línea de negocio se encuentra tanto en las zonas suburbanas, rurales y dispersas, como en las de más alta concentración donde sea necesario cerrar las brechas de acceso, lo que genera un importante efecto socio económico.
- ii) mMTC. Son las comunicaciones masivas de máquina a máquina, originadas en los requerimientos de la IoT para aplicaciones no críticas (con tolerancia al retardo, transmisiones esporádicas, velocidades de datos bajas o muy bajas, concentraciones no demasiado altas de dispositivos por radiobase, y otros). Por ahora los accesos sobre 4G son suficientes.

² <https://www.affirmednetworks.com/>.

- iii) cMTC. Comunicaciones críticas de máquina a máquina. Estas comunicaciones se originan también en la IoT, pero con requerimientos superiores de baja latencia y muy alta confiabilidad (URLLC-Comunicaciones ultra confiables y de muy baja latencia), computación en el borde, y exigente y específica calidad de servicio como la que provee la segmentación de la red (network slicing). Solamente la 5G, en su versión SA, es la tecnología habilitante para prestar estos servicios. Entre las aplicaciones se encuentran las fábricas robotizadas o controles de infraestructuras críticas, la salud, la movilidad asistida o autónoma, entre otras. También en este aspecto, con el avance de estas aplicaciones, la 5G permitirá importante impacto socio económico.

La evolución combinada de la demanda por estos diferentes servicios, junto con las políticas y regulaciones, especialmente del espectro, son las que esencialmente definen el inicio y perfil del despliegue de redes 5G.

E. Redes privadas. 5G como plataforma para nuevos modelos de negocio de las industrias tradicionales

Con la expansión de la IoT dentro de los predios, como en las Industrias llamadas 4.0, los centros o sistemas extendidos de salud, los puertos, las industrias extractivas y similares, con la cantidad de dispositivos y su movilidad en el predio, hacen necesario usar un sistema inalámbrico para la supervisión y el control, con las prestaciones de una red 5G, pero con el perfil de una Red Local (LAN). Por otra parte, las empresas requieren transferir volúmenes casi ilimitados de información dentro de una infraestructura de datos controlada, su procesamiento y almacenamiento, obteniendo un alto grado de seguridad para sus datos, sea por requerimientos propios o por las regulaciones de protección de datos. Otros tipos de comunicaciones, como las de video de las cámaras de supervisión u operativas, requieren capacidades adicionales de acceso, que las provee la radio 5G. Se incluye también en esta categoría de redes aquellas que necesitan las empresas en lugares remotos, como puede ser en la industria extractiva, o en lugares de alta actividad concentrada como pueden ser los puertos automatizados.

Este conjunto de condiciones hace necesario disponer de redes privadas, lo que adquiere diferentes perfiles. Los operadores se han preparado para estos servicios y son flexibles según el requerimiento de las empresas, incluyendo los casos en que la empresa use espectro asignado a ella como sucede en varios países.

Se observan dos alternativas extremas de redes privadas, y toda la variedad de situaciones intermedias:

- i) Propiedad, construcción y operación totalmente en manos de la empresa, con conexiones eventuales con las redes públicas para tareas secundarias, o aisladas del sistema principal. Esta opción es adecuada solamente para las empresas grandes ya que se requiere un alto nivel de conocimiento y de capacidad de operación y mantenimiento de las redes. A veces las empresas logran estas prestaciones a través de acuerdos con entrantes de redes privadas, los que a su vez pueden ser sociedades de varias empresas especializadas (software de aplicación, gestión de base de datos, equipos ciber físicos terminales, etc.)
- ii) Provisión y/o coordinación con redes públicas. Esta modalidad puede variar en cuanto a que la empresa mantiene distintos grados de relacionamiento con el operador público según el balance que ella crea conveniente mantener: red de propiedad privada, pero con operación por parte del operador público, construcción de una red privada virtual sobre la red pública, pero aislando parte de esa red para que sea privada, por ejemplo, usando el “network slicing”, construcción de la red independiente de la red pública, etc. Estas modalidades pueden ser las más convenientes cuando el verdadero valor de la red privada reside en las aplicaciones que la empresa coloque encima y no en la red en sí.

Las operaciones de estas redes privadas en cuestiones críticas, coordinadas con operaciones sobre las redes de los operadores de servicios móviles, podría ser en general la mejor opción cuando exista cobertura. En general el operador público suele ofrecer un paquete muy robusto de 5G, IoT y computación en el borde.

Por otra parte, desde la óptica de las empresas, puede resultar costoso construir y operar la red propia 5G, lo que sería factible para grandes operaciones privadas, o para las cuales las prestaciones que aseguren la mayor privacidad sean imprescindibles.

Desde el punto de vista práctico, ya se observa el interés por las redes privadas, particularmente en Alemania, donde muchos verticales han hecho saber al regulador su interés de disponer de su red 5G local. Por ejemplo, Audi ya ha entrado en un acuerdo con Ericsson para estudiar la introducción de 5G en su línea de producción. Con visión de futuro, ni el WiFi con sus limitaciones frente a rápidos movimientos, su integración con los sistemas centrales y grandes cantidades de datos a ser transmitidos, ni la Ethernet que tiene las restricciones de la movilidad limitada, podrían sustituir las prestaciones de la 5G.

El acceso al espectro puede ser clave para el desarrollo de las redes privadas. En varios países los reguladores están investigando, atribuyendo, o licenciando espectro para redes privadas de verticales, principalmente para la IoT Industrial (IIoT), impulsados por las grandes empresas³.

Estos países están atribuyendo bandas para uso privado y se observa en Europa la preminencia para uso privado de la banda de 3.7 – 3.8 GHz, y próximas. Se estima que la posesión del espectro no necesariamente define quien construirá operará y mantendrá las redes privadas, y los operadores con su gran capacidad de operación de redes están abiertos a atender los requerimientos de las empresas.

La tendencia actual de los operadores es hacer foco extensivamente en la provisión de banda ancha, principalmente fija, como un servicio aislado o ligado a un paquete con otros servicios (seguridad, contenido, etc.), y preparar ofertas flexibles en el ecosistema de las redes privadas para las empresas. Para ello los operadores requerirán de asociación con empresas del ecosistema que provean soluciones parciales para una oferta final conjunta que satisfaga a las empresas (aplicación especial como puede ser el control de calidad de producción, gestión de datos masivos, etc.).

Un detalle importante de la eMBB para empresas es que se suele revertir el comportamiento asimétrico usual de las redes de banda ancha, y requerir capacidades de subida mucho mayores que las de bajada de datos.

Se hace notar que la computación en el borde, que es casi imprescindible en las aplicaciones empresariales, no es solo provista para empresas, sino que existe otra línea de negocio destacada para los operadores que se soporta en los juegos en línea, que están adquiriendo un momento importante.

A septiembre de 2021, la GSA tenía registradas 528 organizaciones que han desplegado o están desplegando redes privadas soportadas en LTE o 5G. Se estima que este recuento es parcial debido a la confidencialidad de esta información salvo por la asignación de espectro para dicho uso. Es parte de una evolución general de 4G a 5G de acuerdo con el surgimiento de requerimiento de especificaciones especiales para usos cada vez más avanzados.

³ "Private 5G Mobile Networks for Industrial IoT" Qualcomm. Julio de 2019

F. Costos estimados para el despliegue de las redes 5G

La estimación de costos está basada en dos importantes estudios realizados por investigadores y sendos análisis de mercado estimativos del costo del despliegue en países de Europa, los que permiten principalmente identificar y cuantificar la influencia de algunos factores en el costo.

1. Tipos de despliegues y costos asociados

Se analizan valores de costos con base en documentación reciente^{4,5,6,7}, que permiten obtener una referencia importante en cuanto a su aplicación principalmente cualitativa en América Latina, observando que los resultados no son técnicamente de aplicación cuantitativa inmediata, sino que constituyen una buena orientación en cuanto a los factores que influyen en los costos, como ser los objetivos de capacidad y cobertura, las redes preexistentes que ya proveen servicios de calidad, la compartición de infraestructura y la dependencia de otros factores como ser el costo regional frente al del mundo más avanzado.

Este análisis refiere a estudios de modelos de costeo de 2018 en Gran Bretaña y 2019 en Holanda, los que deberían ser necesariamente adaptados a la situación en cada país. En estos estudios se observa que las condiciones de base de Gran Bretaña y Holanda son distintas, y por tanto distintos los resultados, a pesar de partir del mismo modelo y de los mismos valores de costos básicos.

Se recomienda considerar que los costos del despliegue están sujetos a cambios relativos a la caída de precios con el tiempo, tipo de despliegue, demanda de servicios finales, compartición de infraestructura, entre otros.

2. Acceso fijo inalámbrico y su comparación con los accesos cableados

El acceso fijo inalámbrico, ya analizado sobre la tecnología eMBB, es un modelo fuerte de negocio en conjunto con el de acceso móvil, constituyendo el modelo de eMBB. El acceso fijo inalámbrico puede ser desplegado con cobertura seleccionada de acuerdo con las necesidades. El acceso móvil requiere cobertura ubicua y con continuidad en la zona de provisión comprometida de servicio. Por ello la mayoría de los operadores otorgan mucha importancia al modelo fijo en el inicio.

En cuanto a los costos de despliegue (CAPEX) y los costos de operación (OPEX) de las dos soluciones de banda ancha fija, cableada e inalámbrica, los correspondientes a esta última son sensiblemente menores. El costo estimado de despliegue de una red de fibra óptica hasta el hogar se encuentra, dependiendo del terreno, densidad poblacional y otros factores, en un promedio de US\$ 600 a US\$ 1.000⁸ por cliente conectado. Para una red inalámbrica eMBB de acceso, los costos se encuentran en el orden de US\$ 100 – US\$ 400⁴ por cliente. Estas variaciones de costos dependen también de la velocidad de adopción, debido a que dará lugar a diferentes situaciones de absorción de los costos hundidos iniciales de red.

En conclusión, el despliegue de redes de nuevas tecnologías inalámbricas, y particularmente las de 5G, serán un factor importante en el desarrollo económico y social. Desde el punto de vista del desarrollo del mercado de acceso fijo de banda ancha, la migración de costos del CAPEX al OPEX hace posible la entrada de nuevos operadores, mejorando la competencia y las áreas de cobertura.

⁴ Edward J. Oughton, Zoraida Frias. The cost, coverage and rollout implications of 5G infrastructure in Britain. *Telecommunications Policy* 42 (2018) 636–652.

⁵ Edward J. Oughton, Zoraida Frias, Sietse van der Gaast, Rudolf van der Berg. Assessing the capacity, coverage and cost of 5G infrastructure strategies: Analysis of the Netherlands. *Telematics and Informatics* 37 (2019) 50 – 69.

⁶ Network sharing and 5G: A turning point for lone riders. McKinsey & Company.

⁷ GSMA. Fixed Wireless Access: economic potential and best practices. 2018.

⁸ Fuentes propias. Modelo empleado en la "Capacitación de Nivel Avanzado sobre modelización de costos y fijación de precios para los países de Latinoamérica" - Managua, Nicaragua del 31 de agosto al 3 de septiembre 2015. Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT). UIT.

Habiendo presentado las cuestiones principales respecto del despliegue de eMBB, se hace notar que cuando se despliega la banda ancha fija con 5G se obtiene por radiobase una mayor capacidad de transporte de información, y mayor velocidad de transferencia. Esta ventaja sobre las redes 4G proviene principalmente del empleo de mayores anchos de banda de espectro, y mayor eficiencia en su uso debido al empleo de múltiples antenas en forma masiva (massive MIMO) y el uso de estructura más eficiente de datos en el aire.

3. Conclusiones sobre costos

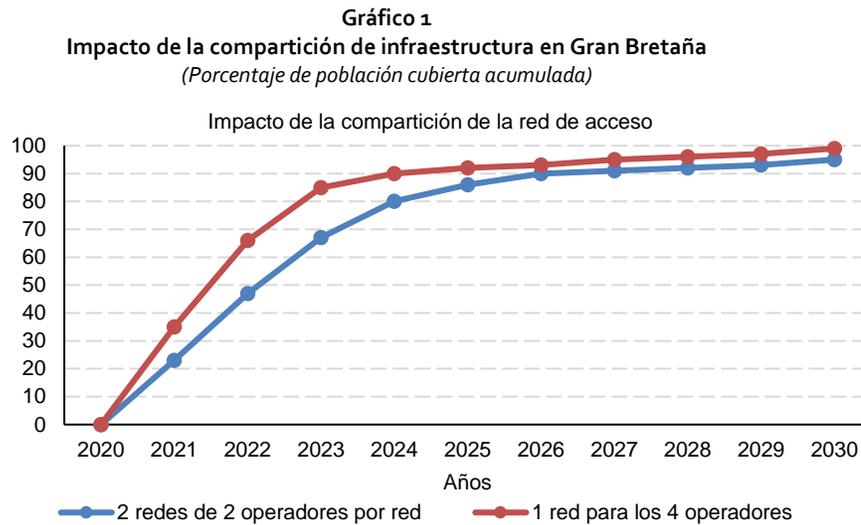
Del estudio comparado de costos realizado se concluye lo siguiente:

- Existen pocos estudios publicados sobre costeo de redes 5G principalmente por encontrarse los despliegues en sus inicios, con toda la variabilidad de situaciones que ya se ha comentado.
- Se trabajó sobre dos documentos que tratan este tema para Gran Bretaña y Holanda, con ópticas algo distintas, lo que permite recoger conclusiones generales de aplicación en los análisis macro de despliegues. Si bien los estudios realizados para otros países son muy valiosos, cuando se busca costear un despliegue siempre es necesario emplear todos los datos propios de cada país.
- En ambos casos los análisis se orientan a la provisión del servicio eMBB.
- Las incertidumbres sobre la demanda estimada, junto a las inversiones ya realizadas en 4G y que deben monetizarse, y los altos costos de inversión requeridos, pueden ser la causa del eventual crecimiento lento de la 5G en nuestra región.
- En Gran Bretaña se analiza el CAPEX requerido por habitante cubierto, el que se resume en la tabla siguiente, considerando que se mantiene la compartición actual de infraestructura a razón de dos operadores por red.
- La compartición de infraestructura permite un avance mucho más rápido en el despliegue, considerando una red para cuatro operadores, como se observa en la gráfica siguiente. Efectivamente, cuando se pasa de compartir una red de pequeñas celdas de acceso entre dos operadores, a una red entre cuatro, se observa un más rápido crecimiento de cobertura debido a los menores costos de despliegue incurridos.
- El caso de Holanda muestra la importancia de ajustar los modelos a cada país, en que debido a la buena calidad y uniformidad de la cobertura de alta velocidad 4G, se requieren inversiones relativamente bajas para lograr el llamado escenario de universalizar el acceso a 30 Mbps. Los costos de inversión promedio por usuario se encuentran en los rangos de: £19-61 en áreas urbanas, £43-92 en áreas suburbanas y £93-338 en áreas rurales, bien inferiores a los de Gran Bretaña.

Cuadro 1
Costo de la cobertura por habitante en Gran Bretaña

	Alta densidad Mín. 8.000/Km2	Media densidad Aproximada 700/Km2	Baja densidad Aproximada 25/Km2.
CAPEX por habitante cubierto	£ 122	£ 780	£ 2200

Fuente: Análisis propio sobre datos del estudio de Telecommunications Policy sobre Gran Bretaña, Edward J. Oughton, Zoraida Frias. The cost, coverage and rollout implications of 5G infrastructure in Britain. Telecommunications Policy 42 (2018) 636–652.



Fuente: Telecommunications Policy.

G. Algunos asuntos relevantes de la 5G

La 5G incluye en forma nativa varios aspectos en cierta forma novedosos comparados con las generaciones anteriores, los que tienen impacto tanto en la intensidad de los despliegues, como simultáneamente en la reducción del costo de la inversión. Visto de otra manera, cuanto más se reducen los costos de los despliegues, en mercados en competencia, menores son los costos totales que se deben recuperar con los servicios, menores son los precios unitarios que permiten recuperar esos costos, y por tanto mayor es la demanda. A su vez el crecimiento de la demanda también mejora la rentabilidad y por tanto favorece la inversión.

Se describen algunos de estos aspectos propios de las decisiones empresariales, de los desarrollos tecnológicos, o de las políticas y las regulaciones.

1. Compartición de infraestructura

Los despliegues de 5G tienen distintos requerimientos según la banda de operación. Hasta la banda media, por ejemplo, de 3,5 GHz, es posible emplear los mismos sitios que se usan para LTE debido a que la 5G en esa banda tiene un alcance parecido al de LTE en 1.800 MHz. La principal razón es que los enlaces de radio de 5G emplean intensamente tecnologías de múltiples antenas, las que permiten mejorar el alcance mediante la formación de haces direccionados hacia los dispositivos. Hasta estas bandas se logran mayores velocidades de pico de radio base que en 4G, pero no se llega a los valores más altos de la 5G debido al menor espectro disponible.

Cuando se busca proveer los servicios de más alta velocidad y menor retardo es necesario emplear las bandas milimétricas por encima de 20 GHz, las que permiten un alcance mucho menor. Para el empleo de estas bandas, el operador debe desplegar una grilla muy densa de radiobases incurriendo en inversiones importantes.

La compartición de infraestructura es una modalidad por la que más de un operador comparten las redes, y principalmente las redes de acceso (RAN Sharing), incluyendo equipos activos, antenas y hasta espectro, y las infraestructuras pasivas como ductos y torres o sitios de radiobases. Es una modalidad empleada en la industria en forma directa entre operadores o a través de una empresa intermediaria, como son las empresas arrendadoras de torres.

Para el caso de las grillas de radiobases 5G es prácticamente imprescindible compartirlas para bajar los costos de la red de acceso, hacerla más eficiente y permitir un despliegue más rápido. Si bien, finalmente en estos casos, la compartición puede no ser objeto de acciones regulatorias como podría ser el de los ductos, es importante que los marcos regulatorios no contengan limitaciones a estas modalidades, incluyendo la compartición de espectro, salvo por razones originadas en el derecho de la competencia.

En la sección anterior se observa el fuerte impacto de la compartición de infraestructuras en la velocidad de despliegue y su alcance, en el modelado de una red densa en Gran Bretaña. Algunos trabajos revelan caídas del 25% al 40% en el CAPEX y de 20% a 30% en el OPEX⁹ empleando la compartición.

2. Open RAN

Las redes de acceso, incluyendo la capa de agregación de tráfico, en todas las generaciones, son un porcentaje importante de la inversión en infraestructura que puede rondar en el orden del 30% al 40% de la inversión total. En las redes 5G de bandas altas, debido a la necesidad de tener redes densas en radio bases, este porcentaje es mayor. Para reducir costos, aparte de la compartición de infraestructura, existe una importante línea de trabajo a los efectos de reducir el carácter propietario de las redes de acceso. Básicamente consiste en la desagregación de componentes, tanto de hardware como de software, manteniendo la compatibilidad a través de interfaces abiertas. El hardware que se emplea es estándar y el software se aloja principalmente en la nube. Está siendo impulsada principalmente por la O-RAN Alliance¹⁰, integrada por operadores, vendedores, integradores, academia y otras partes interesadas.

Éstas, y otras actividades de reducción de costos y mejoramiento de la eficiencia y la calidad, son impulsadas por el Telecom Infra Project¹¹ integrado también por gran cantidad de operadores y demás partes interesadas.

Los grandes operadores del mundo ya consideran que la Open RAN será la principal línea de desarrollo a partir de ahora, anunciando sus compromisos de aplicación y de puesta en operación al menos con clientes a prueba (Vodafone, Telefonica, otros). Progresivamente se va avanzando con las "White Boxes" (Marca Blanca) compatibles, empezando con estaciones "Single Band", luego "Dual Band", Massive Antenna y unidades de banda base remotas ya en el 2S 2022.

Estas estandarizaciones seguramente impulsarán las redes privadas reduciendo la inversión y aumentando la simplicidad de su construcción, sumado a la definición de la red por software (Software Defined Networks o SDN).

3. Virtualización y orquestación

La "cloudificación", o sea el proceso de llevar a la nube las funciones de Operación y Mantenimiento de la red, así como las de soporte al negocio, se ha iniciado hace tiempo, pero se está acelerando principalmente con las complicaciones de gestión que trae la 5G. El proceso de virtualización de la red consiste en disponer de hardware estándar, agnóstico a la función que desarrollará, comandado por software específico para las diferentes funciones de la red, lo que produce una reducción general de costos y un traslado de la inversión del hardware al software. Esta reducción de la inversión, tal como ya se ha mencionado, cuanto más reduzca los costos de los despliegues, en mercados en competencia, menores serán los costos totales que se deben recuperar con los servicios, menores serán los precios unitarios que permiten recuperar esos costos, y por tanto mayor será la demanda, que impulsará más inversión en un círculo virtuoso. Esto es así siempre que los marcos regulatorios sean habilitadores de las nuevas modalidades de operación.

⁹ <https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/network-sharing-and-5g-a-turning-point-for-lone-riders>.

¹⁰ <https://www.o-ran.org/>.

¹¹ <https://telecominfraproject.com/>.

El despliegue de 5G trae indefectiblemente la cloudificación de las funciones virtualizadas de toda la red y de la definición de la red por software (NFV y SDN). Este proceso, junto con la automatización de la red, resulta imprescindible para las redes altamente densas, donde de otra forma sería imposible la configuración manual de miles de nodos. Todo esto en conjunto reduce fuertemente los costos. La migración a esta *cloudificación* no siempre es eficiente en el "Brownfield", con tecnologías heredadas como 3G o 4G, donde coexisten varias redes y se podría realizar solo parcialmente, no logrando el máximo efecto de reducción de costos y de eficiencia. Por otra parte, en este caso, es necesario avanzar cuidando la integridad del servicio del cliente activo.

Para el caso de la 5G la *cloudificación* abarca por defecto las redes de acceso, agregación y transporte y el núcleo de la red.

Agregado a ello, el software de orquestación y gestión de servicios automatiza su provisión sobre la red, desde el núcleo donde residen los Servicios de Soporte al Negocio (BSS) hasta el extremo de la red de acceso, reduciendo los plazos de provisionamiento de días a horas, junto con el riesgo de errores de gestión, mejorando otros aspectos propios de las prestaciones de la 5G.

Esta virtualización y operación en la nube no solamente reduce el CAPEX y el OPEX, sino que además le da plasticidad, resiliencia y recuperación de fallas al sistema, proveyendo así servicios mucho más robustos. La automatización es importante pues cuando se hace el despliegue, el que es en gran escala, se agrega el hardware que es un "commodity" y el software específico, todo lo cual debe ser coordinado. Hay miles de piezas que es necesario coordinar, y más aún cuando es necesario hacer una actualización de todas esas piezas, lo que sería directamente imposible sin automatización.

Existen operadores que ya tienen *cloudificado* el núcleo de la red, aunque aún no lo hayan hecho con los otros segmentos de la red.

Finalmente es imprescindible la computación en el borde con la 5G para poder prestar todos los servicios tanto a nivel residencial como empresarial.

Considerando la automatización, así como la virtualización en que el hardware será comandado por software en la nube, y la orquestación de los servicios, el empleo de la Inteligencia Artificial y del Aprendizaje de Máquinas es esencial para esta operación de la red.

Es importante observar el cambio drástico de paradigma de operador que todo esto implica, junto a la compartición profunda de infraestructura, y a la convergencia de servicios que emplearán estas redes. Es una verdadera revolución cultural en la que se encuentran los operadores, en que cambia hasta la estructura social de la fuerza laboral de la empresa.

H. Condiciones para atraer la inversión

Como se indicó más arriba, el objetivo básico de las facilitaciones o estímulos para la inversión es el bienestar del ciudadano en un marco regulatorio competitivo. Es decir que a más inversión se tendrán más, mejores y más eficientes servicios.

Las decisiones de inversiones a efectuar por los operadores en medio de estos cambios profundos requieren en primer lugar estabilidad y seguridad jurídica y de marco regulatorio, lo que les permiten coordinar con los marcos regulatorios todos los desafíos empresariales que tienen, algunos de corto plazo, y observar una predictibilidad para sus inversiones. Éste es el marco general imprescindible.

Los cambios que enfrentan los operadores son tanto tecnológicos como de modelos transversales de negocio junto a otros proveedores de productos y servicios (software de aplicaciones, gestión de datos, inteligencia artificial, computación en el borde y otros), provocando la generación de un nuevo ecosistema

más amplio de proveedores de servicios con mayor impacto económico y social. Los operadores entran con este esquema en negocios en múltiples sectores relacionados, como los contenidos, pero también en los demás sectores económicos que se vuelven dependientes de las telecomunicaciones y de sus servicios innovadores en el corazón de su negocio (sectores primario, secundario y terciario de la economía), a través de la IoT, la digitalización en general, y más en particular con la 5G.

La industria de los servicios de telecomunicaciones, esencial para los países, debe realizar ingentes inversiones para sobrevivir en un momento en que pierde participación en el negocio general de las telecomunicaciones (servicios, contenidos, distribución de contenidos, equipamientos, etc.), con una caída del 58% al 45% en la participación de los beneficios totales de la Industria, entre 2010 y 2018 según el Foro Económico Mundial.

Para dar soporte a esta situación, la regulación debería adecuarse entrando a lo que la UIT denomina G5 (5ª Generación), caracterizada por ser colaborativa con diálogo inclusivo y armonizada con otros sectores y países. Esta modernización incluye también la orientación a objetivos claros con datos y evidencias, funcionamiento por incentivos, flexibilidad y actualización, "light touch", participación de partes interesadas aún ajenas a la Industria, Sandbox regulatorio e incubadoras de servicios, evaluación de impactos regulatorios, entre otros.

Esta evolución hacia nuevos marcos regulatorios ya se encuentra en la agenda de muchos países.

Por otra parte, los marcos regulatorios deben además habilitar con agilidad, oportunamente, todas las decisiones que los operadores deban tomar para evolucionar sus negocios en el clima de incertidumbre existente por la naturaleza propia de los cambios, y las exigencias de la demanda.

Considerando la importancia del espectro como un activo en la ecuación económica de los operadores actuales o entrantes, y en la calidad y alcance geográfico de los servicios a los ciudadanos, se requiere un análisis especial inserto en los cambios regulatorios comentados, pero fundamentalmente por los requerimientos de la nueva generación 5G. La 5G requiere una combinación de bandas de espectro para poder satisfacer todas las necesidades de los ciudadanos, incluyendo algunas con condiciones especiales como la compartición del espectro o la asignación flexible o transparente al servicio, así como algunas bandas para uso privado. A grandes rasgos se requieren bandas bajas (menos de 1 GHz.) para proveer alcance en zonas dispersas o rurales, bandas medias (de 1 a 6 GHz.) para proveer una combinación de cobertura y capacidad de banda ancha, y bandas altas y principalmente milimétricas para las altas velocidades. El cuadro siguiente es ilustrativo al respecto.

Cuadro 2
Bandas principales de uso para 5G y sus características

Banda de espectro atribuida	Ancho de banda que es posible asignar por operador	Velocidad de datos máxima estimada por radiobase
Más de 20 GHz. Actualmente se apunta a 26 o 28 GHz	Más de 1 GHz	Más de 10 Gbps.
Bandas debajo de 6 GHz (3.5 y otras)	Del orden de 200 MHz.	Del orden de 2 Gbps.
Bandas debajo de 1 GHz. (600, 700, 900 y otras.)	Del orden de 20 MHz	Del orden de 200 Mbps.

Fuente: Elaboración propia.

También es importante la asignación de espectro en cantidades mucho mayores que las actuales, y en esas diferentes bandas, que permitan obtener el máximo beneficio de la 5G como combinación de alcance, capacidad de ancho de banda y reducción de costos de despliegue.

Considerando los desafíos de inversión y de rentabilidad de los despliegues de 5G, las asignaciones en procedimientos competitivos que incluyan "Concursos de Belleza" u obligaciones de servicios que reduzcan el monto a pagar, aparecen como los más idóneos para que el capital se vuelque principalmente al desarrollo de estas redes en ambientes competitivos.

III. Internet de las Cosas

En esta sección se analizan aspectos conceptuales y de impacto, tecnológicos generales, redes alternativas, costos estimados y modelos de negocio de la Internet de las Cosas, una de las líneas principales de la digitalización como fuerza principal que impulsa el desarrollo económico y social.

A. Impacto de la IoT en el desarrollo económico y social

Han sido publicados dos documentos importantes sobre las perspectivas económicas para América Latina de 2019 y 2020¹². Ambos tienen focos distintos, pero plantean objetivos similares en cuanto a sus implicaciones relativas a la Internet de las Cosas como parte definitivamente esencial de un proceso más general de digitalización.

En el documento de 2019 se observa que existe una convergencia de los retos nacionales y mundiales, y se destaca la importancia de las actividades regionales que requieren vínculos entre las políticas nacionales y globales. Este concepto se refuerza aún más en el documento de 2020 como una base para la recuperación post pandemia.

En 2019 se indica que se llega a “trampas” del desarrollo que a su vez generan círculos viciosos.

- Trampa de la baja productividad. Las aperturas al comercio regional e internacional se han direccionado principalmente, con variaciones según los países, hacia los sectores primarios con sus bajos niveles de sofisticación, no generando hacia atrás en la economía los derrames de los avances tecnológicos, y principalmente de la digitalización, que son exigidos en exportaciones de productos y servicios sofisticados. Por otra parte, la sofisticación requiere inversiones

¹² Transformación Digital para una mejor reconstrucción (post COVID) de diciembre de 2020: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46029-perspectivas-economicas-america-latina-2020-transformacion-digital-mejor-y-Desarrollo-en-transicion> de 2019. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/44525-latin-american-economic-outlook-2019-development-transition>.

importantes en capital físico y humano (educación, formación permanente, condiciones laborales, salud, otros). Esta situación dificulta la conexión tecnológica con el mundo. Esta “trampa” hace que ALC tenga dificultades para desarrollar habilidades tecnológicas y atraer la inversión en ellas, y entre otras cosas poder integrar las Cadenas Globales de Valor (CGV). Según el último documento¹³ del Banco Mundial sobre Comercio: “...las CGV pueden seguir impulsando el crecimiento, creando mejores empleos y reduciendo la pobreza, siempre que los países en desarrollo profundicen las reformas y los países industrializados adopten políticas abiertas y predecibles. En este contexto, el cambio tecnológico probablemente juegue a favor, y no en contra, del comercio y las CGV. Los beneficios de la participación en las CGV pueden ser sostenibles y tener un efecto generalizado si todos los países mejoran la protección social y ambiental.” Incorporando la IoT y su constelación de tecnologías en diferentes verticales permite el desarrollo de los países, y también favorece la integración a las CGV. Las políticas que apliquen los países para favorecer la implantación de la IoT, junto con la 5G, y más en general la digitalización, serán una componente fundamental para el desarrollo de la infraestructura que soportará la salida de esta “trampa”.

- Trampa de la vulnerabilidad social. A pesar del escape progresivo de la pobreza, los empleos de mala calidad, escasa protección social e ingresos volátiles pueden dificultar y desmotivar al ciudadano para mejorar su Capital Humano y poder unirse a los avances tecnológicos de la producción y el comercio. Esta “trampa” requiere de políticas que favorezcan esta evolución para adaptarse al futuro de la Internet de las Cosas y la digitalización. La retribución específica del Capital Humano es estimada¹⁴ en el orden del 60% de la retribución total del trabajo en los países en vías de desarrollo y 68% en los países desarrollados, lo que resulta en participaciones del 40% y del 45% respectivamente, en el Ingreso Nacional. La caída del Capital Humano, en el marco actual del desarrollo basado en las nuevas tecnologías, conduce a la reducción de la participación en el Ingreso Nacional, agravado por la también previsible caída relativa de este ingreso en relación con los países tecnológicamente más avanzados. Las políticas que impulsan la IoT y las tecnologías vinculadas, principalmente orientadas a la educación y la capacitación permanente, son importantes para deshacer esta “trampa”.
- Institucional. Se indica que las instituciones, a pesar de los esfuerzos desplegados, aún no logran acompañar las necesidades de los ciudadanos de entrar en los avances de la producción, la digitalización, la Cuarta Generación Industrial y de Comercio, entre otros, debido principalmente a las deficiencias regulatorias, educativas, la seguridad, la salud, entre otros.

En el documento de la CEPAL de 2020 se hace foco en la importancia del desarrollo de las tecnologías emergentes, y principalmente la IoT y la 5G como plataformas del desarrollo, junto a la digitalización, pero ya considerando la época post pandemia.

“América Latina y el Caribe deben aprovechar las herramientas digitales y promover la transformación de la producción para salir de la trampa de la productividad. Algunos países están incorporando políticas para impulsar el desarrollo de tecnologías emergentes, como la robótica avanzada y la inteligencia artificial, para mejorar la productividad.”

En este párrafo se resume la visión de las acciones para el desarrollo y la superación de la pandemia, en que la 5G, la IoT y su constelación de tecnologías son el principal sustento. “La revolución digital comporta cambios que están promoviendo innovaciones en los modelos de negocio y consumo,

¹³ Informe sobre el desarrollo mundial 2020: El comercio al servicio del desarrollo en la era de las cadenas de valor mundiales. Banco Mundial.

¹⁴ David N. Weil. Economic Growth. Pearson, 2013. Pág. 160 y ss.

transformando los sistemas de producción y las cadenas de valor, reorganizando sectores económicos, generando nuevas dinámicas en el mundo del trabajo, creando bienes y servicios inteligentes e introduciendo nuevas condiciones en el ámbito de la competitividad.

Todos estos cambios inciden en la vida de los ciudadanos, en su forma de aprender, trabajar, consumir o interactuar, tanto entre ellos como con los organismos públicos. Esta revolución es resultado de la adopción combinada de tecnologías, por ejemplo, redes de banda ancha, dispositivos inteligentes, computación en la nube, Internet de las Cosas, el blockchain, análisis de macrodatos, inteligencia artificial, robótica, la fabricación aditiva (impresión en 3D) y la realidad virtual y aumentada. La disponibilidad de dichas tecnologías propicia la aparición y aportación de nuevas soluciones en el plano económico, social, institucional y ambiental. Estos nuevos medios ya están ayudando a mitigar los efectos de la pandemia, ya sea permitiendo, en cierta medida, la continuidad empresarial, el teletrabajo y la educación desde el hogar, o realizando un seguimiento del cumplimiento de las cuarentenas por parte de los ciudadanos. No obstante, estas oportunidades no se materializan de forma automática. En muchos países de América Latina y el Caribe, la pobreza, las desigualdades y la precariedad, así como los mercados de trabajo informal, dificultan el acceso a estas soluciones digitales y, por ende, su uso.”

Precisamente en todos estos aspectos, en que América Latina y el Caribe se encuentra en las fases iniciales, será necesario la aplicación de políticas públicas abarcativas, como se describe en la sección “Propuestas para las políticas y el tratamiento legal y regulatorio.”

En definitiva, la Internet de las Cosas, junto a los accesos inalámbricos en general y principalmente la 5G en aplicaciones críticas, han de transformar en forma importante a los diferentes sectores productivos y el desarrollo social.

En cuanto a la cooperación internacional, esencial para que los países no queden rezagados en estos desarrollos, el documento de la CEPAL presenta un resumen importante de ámbitos de cooperación, que pueden ser empleados como fuentes de cooperación, o simplemente para obtener referencias destacadas, en su “Anexo 5.A1. Ejemplos de cooperación internacional en el ámbito de las TIC para desarrollar la capacidad de los países de América Latina y el Caribe para superar las trampas del desarrollo.”

Este trabajo hace foco en las políticas y regulaciones que ayuden, desde la óptica de la infraestructura básica, a reducir los efectos negativos de las trampas mencionadas.

B. Conceptos principales sobre la IoT y la Industria y los servicios avanzados

La Internet de las Cosas es un concepto general que abarca múltiples tecnologías que han ido evolucionando y siguen haciéndolo, transformando radicalmente el funcionamiento de los diferentes sectores productivos, con importantes efectos económicos y sociales. El traslado de la inteligencia a los dispositivos terminales, la expansión de la Internet en capacidad y ubicuidad, el uso de la computación y almacenamiento en la nube son los desarrollos que pavimentaron el camino a la Internet de las Cosas (IoT). Esta evolución incorpora más recientemente la conectividad de las cosas con cosas y con personas a través de la Internet (y en algunos casos con protocolos propietarios), el empleo masivo de sensores y actuadores, y la incorporación de los mecanismos ciber físicos o robots, la analítica de los Grandes Datos, el “Machine Learning” y otras componentes destacadas de estos avances. Los mecanismos ciber físicos son sistemas controlados o supervisados por algoritmos, están conectados a personas o cosas por Internet, y en los cuales las componentes físicas y de software están fuertemente entrelazadas.

La IoT, dentro de un proceso general de digitalización, impacta en toda la Sociedad, y es la base física de la llamada Cuarta Revolución Industrial y de la Economía Digital en general. La IoT aplicada en la

actividad industrial se denomina IIoT (Industrial IoT). Es también destacable que la implantación de la IoT en la producción genera cambios en las relaciones sociales dentro de las empresas o instituciones, los que deben ser considerados.

El desarrollo de la Internet de las Cosas ha sido impulsado por lo siguiente:

- La recopilación, almacenamiento y procesamiento altamente complejos de cantidades muy importantes de información se volvieron realizables con retardos mínimos del orden de 1 ms., a través de soluciones como el uso de la computación en el borde o en la nube, las altas velocidades de procesamiento y la analítica de los Grandes Datos. Los datos obtenidos masivamente por los dispositivos de la IoT se pueden usar en procesos complejos y en tiempo real, y permiten además la actuación sobre las cosas y las personas.
- La reducción de costos de los dispositivos, del procesamiento de la información y de las redes de acceso y transmisión.

Esta evolución de la IoT, y las políticas que los países adopten para insertarse en ella, permite el aumento de la productividad total de los factores simultáneamente con el aumento del capital físico y del capital humano, y por tanto el producto por trabajador y finalmente el bienestar de los ciudadanos. Sin embargo, el impacto de la capacitación demorada de los trabajadores y la evolución del empleo pueden al mismo tiempo afectar negativamente a la Sociedad. Por ello se requieren políticas que abarquen todos los aspectos influenciados por la IoT.

Un riesgo importante, si no se adoptan políticas adecuadas y oportunas, es que el aumento de la producción por trabajador en una economía impulsada por la incorporación de todos estos avances se vea acompañada de un aumento de la desocupación que aumente la brecha socio económica en el país. También se pueden generar diferencias entre los países, en que algunos podrán incorporar la IoT en forma efectiva con aumento del producto, afectando a otros países que no avancen al ritmo exigido por la competencia internacional, aumentando la brecha entre países.

Es importante destacar que el desarrollo de la IoT no es solo un asunto de relevancia para los países más avanzados, sino que, su desarrollo y aplicación en los países en vías de desarrollo evitará el aumento de la brecha tecnológica entre países, la consecuente reducción del producto por trabajador y el traslado de la eficiencia de la producción hacia los más avanzados con todas sus consecuencias, incluyendo la primarización en los países en vías de desarrollo.

Y aquí surgen diferencias que afectan o que pueden afectar su desarrollo en los países menos avanzados, y que requieren atención, políticas y esfuerzos especiales y enfocados, los que son analizados detalladamente más adelante y que se resumen a continuación:

- Capital humano expresado por el conocimiento ya adquirido y que permita el desarrollo tecnológico propio, o la implantación de conocimientos de otras regiones. Este capital humano, adaptado a estos avances, es requerido a nivel general en todos los sectores del sistema productivo, pero también en la fuerza laboral dedicada a la Investigación, Desarrollo e Innovación. Sin embargo, se observa en general que los niveles de la educación tienen carencias en los países en vías de desarrollo en su comparación con los más avanzados, lo que dificulta satisfacer los requerimientos en ambos casos.
- Conectividad existente en el país. Los sistemas de telecomunicaciones deben ser orientados a la IoT, ubicuos, robustos, eficientes, capaces de transportar información a altas velocidades (p.e. para aplicaciones médicas), redundantes, entre otras condiciones.
- Deben existir marcos legales y regulatorios flexibles como en la gestión del espectro y el licenciamiento, marcos para la seguridad y para la privacidad de la información, la

armonización incluyendo los países de la región, y otras condiciones. Por ejemplo, establecer cómo se obtiene la información, cómo se procesa, durante cuánto tiempo se almacena, qué acceso pueden tener otras partes ajenas a los procesos en sí, cómo debería ser entregada la información si ella sale del sistema, etc.

- Finalmente, se deben elaborar agendas profundas y efectivas para el desarrollo de la IoT con visión prospectiva y con la participación de todas las partes interesadas. Es especialmente importante la coordinación transversal entre el sector de TIC, la salud, las obras viales, las diferentes industrias, los sectores primarios de producción y otros.

C. El papel de las plataformas centrales de los sistemas de IoT

Las plataformas centrales de los sistemas IoT son las que proveen los servicios, los controles y los comandos, la supervisión y gestión de la red de dispositivos, el procesamiento de la información relevada por los dispositivos, las interfases con el mundo exterior y demás funciones.

La manufactura tradicional, altamente concentrada, traslada las materias primas y los recursos humanos y materiales a su centro de producción en gran escala, y luego distribuye los productos a los puntos de consumo. La manufactura distribuida opera en sentido contrario, produciendo cerca de los clientes, a donde traslada la materia prima y los recursos, permitiendo productos personalizados y con una distribución simplificada. Solo la automatización, basada principalmente en la IoT vuelve eficiente este tipo de producción, sustituyendo el transporte de materia prima y mercadería por el transporte de datos que optimizan los procesos, y evitan los desperdicios de producción ajustándola a la demanda, como el exceso de productos que luego deben ser liquidados con grandes descuentos, o descartados.

No es solamente un cambio en los procesos productivos, sino un cambio profundo en la forma de pensar y crear esos procesos, y en la forma de relacionarse flexiblemente con la demanda. El avance del uso de las tecnologías de la información sobre las máquinas, en los llamados ciber físicos, permite la modularización de las cadenas de producción facilitando la reconfiguración para distintos tipos de productos con la supervisión y control de las plataformas centrales.

La reducción de la cantidad de mano de obra no calificada y su sustitución por ciber físicos, así como la modularización y la gestión de la producción en un entorno de virtualización de la producción, reduce los costos y los volúmenes óptimos de producción, permitiendo notorias economías de escala con menores niveles de producción. Por ejemplo, una impresora 3D de sinterizado de materiales, como el titanio, permite virtualizar la producción de piezas solamente activando un software distinto sobre la misma máquina.

La primera e importante consecuencia de estos procesos es la producción distribuida cerca de la demanda, aumentando la huella de las empresas, inclusive a nivel global, y customizando la producción de acuerdo con los clientes, con simplificaciones importantes en la cadena logística.

Si bien, en teoría, la producción distribuida tiene importantes eficiencias, los avances desiguales de la IoT en los países, y las trabas existentes y que seguramente se desplieguen, dificultarán por ahora el avance de este nuevo concepto a nivel global. Pero está en el horizonte.

Las plataformas son el corazón de los sistemas de IoT para la producción o la prestación de servicios, y por ellos su desarrollo es estratégico desde el punto de vista geopolítico.

Las estructuras tradicionales de producción en los países de LAC no podrán ser fácilmente desafiadas debido a las altas inversiones en capital físico, la escasez de capital humano y otros factores que también dificultan el abandono rápido de las estructuras actuales. En este sentido los países de LAC se encuentran en una situación con muchas más dificultades que los países más desarrollados, lo que

implica un mayor desafío para evitar el empeoramiento de la situación relativa en los próximos años. Y este desafío implica comenzar lo antes posible enfrentando este problema y desde un nivel más bajo.

Por ello, es posible que en varios sectores como puede ser la confección de vestimenta, subsistan por muchos años las cadenas actuales de producción con incorporación progresiva de los ciber físicos. Como ejemplo de estas preocupaciones se observa que Brasil ha identificado dos industrias manufactureras principales en su “Plano Nacional da Internet das Coisas”: textil y automotriz. De esta forma fortalece esta cadena para competir a nivel mundial, no solo para exportar sino también para sustituir importaciones o evitar su aumento. Se entiende como un importante movimiento estratégico que incluye evitar que se desarrollen industrias con plataformas residentes en otros países y plantas mínimas en el país. Más recientemente Brasil aprobó una Ley de estímulo fiscal para el desarrollo de la IoT¹⁵.

Para que todo ésto sea una realidad en nuestros países, es necesario la adopción de un conjunto de políticas y reglamentaciones que se describen más adelante, y en las que los países más avanzados ya se encuentran trabajando.

D. Modalidad de provisión de la IoT como servicio (IoTaaS)

La IoTaaS es la provisión de un sistema de IoT mediante un pago recurrente como servicio, realizando inversiones mínimas por parte del usuario, e inclusive vinculando ese pago a factores objetivos de calidad, uso real del sistema o similares. Como en todos estos casos, se convierte el CAPEX en OPEX mejorando el comportamiento financiero de proveedores y usuarios de la IoT, y además pone a disposición el capital humano requerido con importantes economías de escala y eficiencia.

Salvo las grandes, y no todas, la mayoría de las empresas son potenciales clientes de IoTaaS, y buscarían delegar parte de las decisiones de diseño, instalación y operación en empresas especializadas en IoT. Las PyMEs son las principales empresas que requerirían estos servicios.

La prestación de IoTaaS es una oportunidad obvia para los operadores de telecomunicaciones asociados con empresas de nicho, cuando sus ingresos por servicios tradicionales de voz y mensajes están cayendo al trasladarse hacia la banda ancha el valor para los usuarios, lo que no permite la recuperación de costos acorde a ese valor.

En este camino los operadores de telecomunicaciones optan por la alianza estratégica, la fusión u otro tipo de relacionamiento, con empresas especializadas en determinados verticales, o en segmentos tecnológicos como son los terminales o sistemas de procesamiento de la información, o inclusive otras alianzas estratégicas de menor nivel en la cadena de valor, pero no en poder tecnológico, a los efectos de completar la cadena.

Como ejemplo específico, se ve que en el área de la salud los requerimientos de conectividad van a ser escasos respecto del negocio total de IoT. Por esa razón, empresas como Telstra o Telefónica están dedicando esfuerzo para proveer a las empresas de la salud una plataforma completa, incluyendo hasta la Analítica. Éste es otro caso típico en el que algunas empresas optan por la asociación con especialistas para completar la cadena. En general se puede decir que todos los grandes operadores en el mundo están haciendo esfuerzos para entrar en el negocio de IoTaaS, y se observan alianzas como IoT World Alliance¹⁶ que incluye importantes operadores como KPN, NTT DOCOMO, Telenor Connection, SingTel, Telefonica, Telstra y Beeline.

¹⁵ “Lei 14108 da Internet das Coisas” vigente desde el 1 de enero de 2021 y por cinco años.

¹⁶ <https://iotworldalliance.org/>.

A los operadores de telecomunicaciones se han agregado empresas proveedoras de TIC, y otras, en la oferta conjunta de IoTaaS, lo que permite a las empresas usuarias finales crear aplicaciones IoT sin preocuparse por la gestión de la infraestructura de soporte. Microsoft ha lanzado su servicio IoT SaaS sobre la plataforma Azure IoT Central¹⁷, en el mismo sentido Amazon tiene su plataforma AWS IoT¹⁸, INTEL¹⁹ ha desarrollado su ecosistema adaptable a los requerimientos de los clientes, General Electric ofrece Predix²⁰, IBM tiene Watson IoT Platform²¹, Cisco²², y muchas otras empresas de primer nivel tienen o están desarrollando sus plataformas, por lo que las que se mencionan son solamente ejemplos de lo que sucede con esta industria.

Como resumen se puede decir que los operadores de telecomunicaciones, por su gran experiencia en la integración y gestión de sistemas dispares, aparte de dominar la conectividad y su gestión, así como por su fortaleza financiera, se encuentran en muy buena situación para liderar la provisión de IoTaaS en sociedad con proveedores de múltiples componentes.

E. Tecnologías de acceso para la IoT

El acceso, entendido como el último tramo de la red hasta el terminal del usuario, es el elemento de red esencial para el despliegue de la IoT y de gran impacto en el éxito del sistema, pues es el más sensible para las especificaciones de velocidad, retardo, seguridad, duración de baterías – eficiencia energética, ubicuidad - cobertura, entre otros. Y cuando se habla del acceso inalámbrico, que por razones técnicas y económicas será el dominante para la IoT, éste lleva asociada la necesidad de disponer del espectro radioeléctrico adecuado para la eficiencia en las diferentes bandas de operación.

Se hará una breve revisión de tecnologías actualmente usadas para soportar la IoT.

1. Accesos fijos

Los accesos fijos se desarrollan en este momento, principalmente, a través de las redes de Fibra Óptica, y también HFC (Híbrido Fibra Cable) con menor despliegue corriente. Últimamente los accesos fijos usando 5G en bandas milimétricas se suman eficientemente a estas opciones, como ya se vio. De todas formas, debido a la necesidad de disponer de acceso con dispositivos que pueden estar en movimiento (robots, sensores de motores), o que se encuentran en lugares especiales (sensores de medidores de gas, sensores de humedad en el campo), los accesos fijos son de escaso uso.

2. Accesos inalámbricos

En este conjunto de tecnologías de acceso se distinguen las llamadas LPWAN (Redes de Área Extendida de Baja Potencia) debido a sus bajos costos, la eficiencia energética y por soportar áreas densas de terminales. Por ello son las empleadas para el despliegue masivo de IoT para aplicaciones tolerantes al retardo.

Entre ellas se encuentran: 1. las llamadas IoT Móviles que refieren a las estandarizadas por el 3GPP (últimamente se usan dos: LTE-M y NB-IoT, las que son complementarias), empleadas en redes gestionadas por los operadores sobre espectro licenciado, y 2. las propietarias que operan en espectro compartido y se las suele llamar Redes Gestionadas por poder operar gestionadas por quien la despliega.

Entre las propietarias, constantemente se producen incorporaciones para alcanzar este mercado de uso masivo de terminales a través de diferentes tecnologías de codificación que permitan aumentar

¹⁷ <https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-central/>.

¹⁸ <https://aws.amazon.com/es/iot/>.

¹⁹ <https://www.intel.com/content/www/us/en/internet-of-things/market-ready-solutions/overview.html>.

²⁰ <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>.

²¹ <https://www.ibm.com/cloud/watson-iot-platform>.

²² <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>.

el flujo aún en espectro compartido, que incluyen por ejemplo el fraccionamiento de los mensajes en “telegramas” como establece el standard “Telegram Split” del ETSI²³.

Las tecnologías LPWAN del 3GPP, están ligadas con las tecnologías móviles existentes (“Release” 13), y por ello mismo heredan los beneficios de la seguridad y privacidad propios de las redes móviles.

Entrando a las comunicaciones para aplicaciones críticas en la Internet Industrial de las Cosas (IIoT) ya es necesario pasar a emplear la tecnología 5G, que como se ha visto provee especificaciones que no se logran con ninguna de las tecnologías preexistentes. Adicionalmente puede ser usada la 5G para desarrollar redes Ethernet en escenarios industriales conservando las características de las redes fijas con la flexibilidad de las inalámbricas.

3. Tecnologías de acceso inalámbrico IoT Móviles o del 3GPP

Solo a título referencial se presentan las tecnologías del 3GPP, desarrolladas inicialmente a partir del “Release” 8 y que todavía se siguen comercializando con bastante intensidad fuera de China, antes de analizar las más avanzadas incluidas en el “Release” 13.

- GSM del “Release” 8, usando el espectro licenciado GSM, con 200 KHz de ancho de banda y hasta 500 Kbps UL/DL. Se destaca que en el “Release” 13 (2016) se emitió el estándar EC-GSM-IoT (Extended Coverage – GSM – IoT), para la 2G y que ya casi no se comercializa. El equivalente a estos dispositivos, para un uso similar, es la NB-IoT del “Release” 13.
- LTE MTC Cat 1 es la categoría de equipo de usuario (UE) con menos prestaciones basada en las especificaciones del “Release” 8, usando espectro en las bandas licenciadas para LTE, tecnología ésta que se introdujo precisamente en este “Release”, con anchos de banda de la portadora de 1,4 a 20 MHz. (o sus múltiplos). Las velocidades son de hasta 10 DL/5 UL Mbps. No fue relevante para servicios móviles de datos ya que su respuesta fue inferior a 3G, pero ha resultado útil en los primeros despliegues de IoT sobre LTE debido a su estandarización congelada y sus prestaciones. Se adapta también a una gama de aplicaciones.
- En el “Release” 12 se especificó un UE de Cat-0, LTE MTC Cat 0, con 20 MHz de espectro y hasta 1 Mbps. de velocidad de datos. Esta categoría 0 introdujo dos aspectos: los terminales de usuario han reducido su complejidad, hasta 50% frente al Cat 1, para ser comparables a los terminales móviles GSM/GPRS, y disponen del Modo de Ahorro de Energía (PSM) cuando no recibe ni transmite datos.

Los objetivos comunes que orientaron las dos tecnologías de más recientes desarrollo del 3GPP que se describen a continuación, desarrolladas por la industria móvil, y destinadas a soportar la IoT dentro del marco del “Release” 13 (2016) del 3GPP²⁴ son²⁵:

- Reducción de la complejidad y el costo de los terminales (UE) más allá del UE Cat 0.
- Reducción drástica del consumo de batería.
- Aumento de la cobertura de entre 15 y 20 db., mejorando el “link budget” o balance de potencia considerando todas las pérdidas del enlace.

La tecnología de acceso LTE Cat – M1²⁶ de terminales, denominada también eMTC (Enhanced Machine Type Communication) o más comúnmente LTE-M, se refiere a una generación de LTE diseñada

²³ Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones. Estándar TS 103 357 https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103357/01.01.01_60/ts_103357v010101p.pdf.

²⁴ 3GPP Standards for the Internet-of-Things. GSMA MIoT, Febrero de 2016.

²⁵ <http://www.gsma.com/connectedliving/wp-content/uploads/2016/10/3GPP-Low-Power-Wide-Area-Technologies-GSMA-White-Paper.pdf>.

²⁶ Long Term Evolution Machine Type Communications Category M1. Informalmente a veces llamada LTE – M.

para IoT y congelada en el "Release" 13 del 3GPP (2016). Es una generación para Máquinas (M), que permite reducir la potencia (mejorando la vida de la batería a 10 años), y el costo, reduciendo la velocidad a 1 Mbps. y aumentando la cobertura en 15 db. Emplea técnicas que permiten llegar a 10 años de duración de batería usando un modo de ahorro de batería o PSM²⁷ (Power Saving Module) y eDRX²⁸ (Extended Discontinuous Reception).

Esta tecnología no se ha expandido en China, donde para aplicaciones con mayores requerimientos que la NB-IoT se emplean los módulos de bajo costo LTE-Cat 1 bis. El LTE - Cat 1 bis, está basado en el "Release" 13 del 3GPP y se caracteriza por tener una sola antena y estar optimizado para aplicaciones de baja potencia. El hecho de usar una sola antena la hace más adaptable a pequeños dispositivos y por eso se usa en IoT. En 2021 el estándar Cat 1 bis también está ganando tracción en Europa por razones de adaptabilidad a la escala multi país en toda Europa, que no se logra con LTE-M

La otra tecnología, la NB-IoT, responde a un estándar diseñado especialmente para la IoT usando banda angosta, y también congelado en el "Release" 13. Está pensada para penetración interior, baja complejidad, bajo consumo de batería de hasta 10 años, eficiencia espectral y bajo costo.

La NB-IoT tiene varias opciones de uso de espectro: dentro de la banda atribuida para LTE, sea usando bloques de recursos dentro de una portadora LTE normal o en los bloques de recursos no usados en la banda de guarda de la portadora LTE, o en modalidad "stand alone" en espectro dedicado.

Como es soportado por los principales vendedores de equipamiento móvil, podrá coexistir con las redes móviles 2G, 3G y 4G. Cuando el operador dispone de Nodos B recientes (pocos años) seguramente no debe agregar hardware en las radio bases, y solo requiere despliegue de software encima del LTE.

La siguiente tabla resume las dos tecnologías más recientes de LPWAN, desarrolladas por la industria móvil, y destinadas a soportar la IoT dentro del marco del "Release" 13 (2016) del 3GPP.

Cuadro 3
Prestaciones principales de las dos tecnologías actuales de LPWAN del 3GPP

Tecnologías	LTE-M (LTE Cat M1)	NB-IoT (LTE Cat NB1)
Objetivos de uso	Soporta VoLTE, mayor velocidad de pico, tiempo real, mayor consumo, soporta aplicaciones más complejas que NB-IoT como ser gestión de servicios públicos.	Está orientada a datos, menor velocidad de pico, bajo consumo y transmisiones esporádicas. Usos que soportan retardos como relevamiento de humedad de suelos, etc.
Despliegue	In-band LTE	In-band & Guard-band LTE, standalone (ej. Carrier de GSM)
Cobertura	155.7 dB	164 dB para standalone
Ancho de banda de espectro	1.08 MHz	180 KHz
Velocidades de pico (DL/UL)	1 Mbps para DL y UL	DL: ~250 kbps. UL: 250 kbps. para multi tono o 20 kbps. para tono simple
Duplexado	Full Dúplex & Half Dúplex (type B), FDD & TDD	HD (tipo B), FDD
Modo de ahorro de potencia (PSM) ^a	PSM, ext. I-DRX, C-DRX	PSM, ext. I-DRX, C-DRX

Fuente: Elaboración propia.

^a El 80% de los acuerdos de roaming entre operadores no son compatibles con PSM y eDRX, que son esenciales para la gestión de la duración de la batería en dispositivos IoT.

²⁷ El UE avisa a la red que permanecerá "dormido" indefinidamente. Es el UE el que decide cuándo transmitir. Cuando lo hace queda en espera de recepción durante un período corto.

²⁸ El UE avisa a la red cuánto tiempo estará dormido y cada cuánto tiempo se despierta solo para recibir.

Todas ellas pueden, en muchos de los casos donde se esté utilizando tecnología reciente, ser desplegadas solamente mediante una actualización de software de su red actual.

4. Tecnologías de acceso inalámbrico LPWAN no 3GPP

Mientras se producía el desarrollo de las tecnologías de acceso del 3GPP para IoT, surgieron en paralelo varias tecnologías propietarias como LoRa (Long Range Wide Area Network) y SIGFOX, entre otras. Luego se continuó trabajando en otras nuevas tecnologías de acceso de características similares, y topologías que incluyen por ejemplo retrasmisiones en unidades de usuario, etc.

SIGFOX es una empresa francesa fundada en 2010 y que provee o construye redes inalámbricas orientadas a conectar dispositivos de bajo consumo de energía (se estima hasta 20 años) y que puedan transmitir, cuando sea necesario, bajas cantidades de información, adecuadas para algunas aplicaciones de la IoT. Su cobertura actual abarca 70 países.

SIGFOX usa banda ultra estrecha de transmisión de datos y bandas de espectro de uso libre y particularmente el espectro ICM²⁹. La limitación en la cantidad de información transmitida es suficiente para la mayoría de las aplicaciones actuales de la IoT.

Esta tecnología hace uso de la baja tasa de modulación o velocidad de datos, para mejorar la recepción y bajar el consumo de batería.

El alcance estimado de SIGFOX es del orden de 30 Km en zonas rurales y de 3 a 10 Km en zonas urbanas. La pasarela central de LPWA está basada en la nube y provee un sistema central global de autenticación por lo que no tiene requerimientos de itinerancia.

LoRaWAN³⁰ es una especificación LPWAN de la LoRa Alliance, destinada a terminales de usuario (UE) empleados en la IoT en redes nacionales, regionales o globales. Ofrece comunicaciones bidireccionales, movilidad y servicios de localización. Es de una arquitectura en estrella de estrellas en que los UE de las Cosas se comunican con pasarelas que reenvían los mensajes bidireccionales con el servidor central, simplemente convirtiendo los paquetes de radio en paquetes IP y viceversa.

Las pasarelas emplean circuitos comunes IP para su conexión al Servidor, y los UE se conectan a las pasarelas (a una o más) en un solo salto de radioenlace.

También se han desarrollado módulos duales LoRa – SIGFOX.

F. Modelos de negocio, infraestructuras y recursos de core

Las empresas e instituciones están evolucionando, en general, hacia la contratación como servicios de todos los requerimientos secundarios para el negocio. En general llamado XaaS, o “servitización”, incluyendo principalmente los activos. En cuanto a la IoT en particular, todavía algunas empresas siguen construyendo su sistema basadas solamente en la conectividad que les ofrecen, pero se está desarrollando un ecosistema en el cual comienzan a buscar la IoTaaS como se ha descrito en la sección D. “Modalidad de provisión de la IOT como servicio (IOTAAS)”.

Por otra parte, los operadores están desarrollando plataformas que permiten proveer el servicio IoTaaS de calidad empresarial, a menores costos que si lo desarrolla la propia empresa, con actualizaciones de acuerdo con los avances tecnológicos, y fácilmente escalables. Este ascenso de los operadores en la cadena de valor les permite en primer lugar extenderse más allá de la pura conectividad

²⁹ ICM: Bandas de radio industriales, científicas y médicas.

³⁰ <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>.

y venta de dispositivos terminales, apalancados en los propios sistemas que ya disponen de soporte al negocio y a la operación.

Se observan en general dos grupos extremos de aplicaciones que requieren UE de características especiales, las que pueden denominarse aplicaciones masivas y aplicaciones críticas, y un grupo de aplicaciones intermedias.

- UE de baja complejidad y bajo costo, larga duración de batería de 10 años, bajo caudal de datos y unos 300 Kbps. de pico, exigencias menores en los retardos (aceptan hasta segundos) y cobertura interior profunda (por ejemplo, en sótanos). Casos de aplicación: medición de servicios de gas, agua, electricidad y similares a nivel minorista y a nivel industrial, logística de seguimiento de activos que requieren solamente información con baja cadencia, observación de condiciones para la agricultura, supervisión de procesos industriales, gestión de edificios y similares. En todos estos casos el tráfico es predominantemente de subida, es casi inexistente o no esencial la bidireccionalidad. Entre las tecnologías del 3GPP se debería usar NB-IoT. También se podrían usar las tecnologías propietarias de acceso en espectro no licenciado, como SIGFOX o Lo-Ra entre otras.
- UE de alta complejidad y mayores costos, que requieren comunicaciones bidireccionales (comando y recopilación de información) de alta velocidad del orden de 1 Mbps. y mucho más, bajo o muy bajo retardo del orden de los 100 – 200 milisegundos y hasta 1ms para casos especiales, no es importante la duración de las baterías y alta disponibilidad. Estos equipos son requeridos en aplicaciones críticas como la gestión de redes de energía, gestión de procesos incluyendo los ciber físicos en la Industria 4.0, supervisión médica remota, acciones críticas de salud como cirugía remota, autonomía de vehículos, etc. Para las aplicaciones críticas se usan las tecnologías del 3GPP LTE-M y 5G.
- UE para situaciones intermedias, principalmente empresariales, se requieren velocidades de unos 200 Kbps. a 1 Mbps. según el caso y con calidad empresarial estándar, no IoT ni crítica. Para ellas el UE del 3GPP LTE-M sería adecuada. Entre las aplicaciones se encuentran la gestión de instalaciones (ambiental, seguridad simple), seguros inteligentes, gestión de mantenimiento, mediciones industriales, etc.

La oferta pura de red de acceso para la IoT al principio fue considerada por los operadores como el foco principal del negocio IoT. Sin embargo, al desarrollarse el ecosistema de la IoT, se observó que el mayor volumen de ingresos resulta de la provisión de los servicios en distintas etapas de la cadena de valor de los sistemas IoT, los que deberían ser incorporados por los operadores. Para el mercado masivo, el ARPU mensual de cada dispositivo IoT podría encontrarse en varias veces menos (10 – 40) que el de la banda ancha móvil, algo muy inferior a los precios a cobrar por los distintos segmentos de la cadena de valor.

Por ello, la infraestructura y los recursos del core resultan relevantes, para el mercado masivo, en el impacto de la IoT sobre el negocio de los operadores. Cuando se habla de core se incluirá entonces la infraestructura física de hardware y software, así como al personal especializado en el desarrollo e implantación de soluciones y en el asesoramiento a los clientes. El desarrollo centralizado del core, permite obtener economías de escala considerando que puede ser compartido para múltiples aplicaciones.

Los operadores están preparados, por su experticia, en la prestación de servicios aún más complejos que los del acceso puro y de baja capacidad, como son los de soporte a la automatización de la industria, los servicios médicos, y similares, que si bien tienen costos sensiblemente mayores también les permiten ingresos mayores que el acceso puro. Esos costos e ingresos mayores provienen no solamente del core sino también de la conectividad que requiere en general redes de acceso de más capacidad que los servicios masivos. Las redes privadas ya analizadas en la sección de 5G son ejemplos de estos importantes modelos de negocio.

En la cadena de valor de la provisión de servicios IoT se pueden abrir cinco capas principales en las que pueden ubicarse los operadores. Existen otras aperturas por capa por parte de diferentes analistas.

- Capa 1. Red de acceso entre los dispositivos y las radiobases, y desde estas con el core y el usuario final. Incluye los dispositivos finales con su identificación, y permite la comunicación uni o bidireccional entre la red del operador y los dispositivos. Las radiobases se comunican a su vez por red fija con el core del operador. Esta capa, que da el soporte imprescindible a la operación de los sistemas IoT, es la que menos aporta al valor de este negocio.
- Capa 2. Esta capa, que puede abrirse en otras, es donde reside la inteligencia de la gestión de la red, de acuerdo con la lógica de la operación y de cada negocio. Es el Centro de Operaciones de la Red o NOC. Los operadores tienen esta capa desarrollada para los servicios tradicionales, por lo que pueden usar esa plataforma haciendo agregados para la IoT. Por ejemplo, aparte de la gestión inteligente de políticas y seguridad de la conectividad y de los dispositivos, deben agregar servicios adicionales de seguridad, filtrado y procesamiento inicial de datos crudos, acceso condicionado directo del cliente a los dispositivos, creación de canales virtuales para clientes individuales, entre otros.
- Capa 3. Recibidos los datos preprocesados, los mismos deben ser procesados de acuerdo con el servicio final ofrecido. Por ejemplo, un sistema de gestión inteligente de medidores y uso de energía, supervisión de campos de cultivo, etc. El operador puede concentrar en esta capa tanto los servicios completos, como los módulos que pueden ser empleados por terceros a través de APIs. Esta capa es responsable de que los requerimientos de los clientes puedan ser satisfechos a nivel de soluciones verticales propias, o a través del acceso a módulos que permitan constituir las soluciones completas.
- Capa 4. Esta capa superior es específica para el procesamiento de la información masiva recibida (Grandes Datos) para determinar patrones o tendencias (analítica), almacenamiento seguro de la información y computación en la nube / niebla / borde.
- Capa 5. Esta capa es la de mayor nivel, y la más importante para el éxito de un sistema de IoT, donde operan los integradores de sistemas tanto de tecnologías de la información como de tecnologías de la operación. Está constituida principalmente por personal altamente especializado, y que provee servicios a los clientes como ser la consultoría de negocio, la planificación estratégica y el diseño de la solución completa de su sistema de IoT adaptado a sus necesidades incluyendo el cambio de gestión, la integración y escalabilidad con los sistemas corrientes de negocio, datos y procesos del cliente, la instalación y el soporte técnico, y en general todo el soporte para que puedan evolucionar su infraestructura y modelo operativo hacia los estratos superiores del empleo de la IoT, como ser la evolución de sus sistemas para optimizar el uso de la IoT. Este soporte es habitualmente requerido por las empresas cuando es necesario evolucionar a nuevas tecnologías. En esta capa se desarrollan las operaciones principales para proveer el servicio IoTaaS, que es lo que buscan las empresas grandes con proveedores de alto porte. O sea, obtener una solución a sus requerimientos sin involucrarse en el diseño, planificación, etc., solo contratar el servicio total.

Los soportes para estas capas suelen en general, pero no necesariamente, ser provistos mayoritariamente por empresas ajenas al operador a través de acuerdos con él, o directamente con el usuario final. Este tipo de alianzas, acuerdos de colaboración y similares, muestran una variabilidad muy grande en la que entran a actuar empresas de diversos orígenes como ya se ha visto al hacer referencia a las plataformas.

En particular las capas 2 a 4 son provistas tanto en parte por los propios operadores, en lo más vinculado a su “core business”, como por proveedores de hardware y software, incluyendo empresas que han desarrollado sus propias plataformas y luego las comercializan para verticales que son afines.

Más en general, los operadores, independientemente del modelo que empleen, tienen sus propias unidades de negocio especializadas para IoT. Por ejemplo, en México, es el caso de las operadoras AT&T, Telcel, Telmex, Movistar, Axtel e iZZi³¹.

G. Despliegues en diferentes geografías u operadores. Dificultades y soluciones

En los despliegues de servicios IoT se presentan algunas dificultades de conectividad, principalmente debido al uso de las tarjetas SIM tradicionales, que es necesario solucionar para que el modelo de negocio sea exitoso. Se enumeran algunas de ellas en una visión preliminar, y que se entiende que están afectando un mayor desarrollo de los despliegues de la IoT principalmente en servicios en diferentes geografías:

- En el caso de aplicaciones críticas el despliegue soportado en la red de acceso de un único operador presenta riesgos importantes. Puede suceder que existan vacíos de cobertura en el área de operación del sistema IoT, o que parte de la red tenga una falla transitoria. En ambos casos el sistema requiere la conmutación inmediata a otro operador que provea continuidad al servicio. Claramente esta operación no es posible con la identificación rígida de la tarjeta SIM tradicional.
- Los fabricantes de dispositivos IoT no pueden, en principio, con la tecnología de las tarjetas SIM dar por terminado un producto que se adapte a cualquier país al cual sea embarcado, o a varios países del mismo proveedor del sistema IoT. Requiere acciones de este último.
- Cuando el servicio ofrecido es transfronterizo e involucra dispositivos IoT que pueden permanecer en más de un país, y a veces por varios meses o permanentemente, el empleo del roaming permanente no es una solución adecuada para estimular el despliegue de estos sistemas. La razón de fondo es que el roaming está diseñado para el uso por personas que viajan y vuelven, y no para cosas que viajan o pueden permanecer mucho tiempo en distintos países. Existen situaciones variadas que generan riesgos de costos para el sistema, entre las cuales se encuentran:
 - En el roaming “inbound” el operador recibe, del operador de origen, ingresos a nivel mayorista sensiblemente menores que los ingresos a nivel minorista que obtendría si el dispositivo estuviera registrado en su red. Por ello hay dificultades para que acepte el roaming permanente, a menos que existan acuerdos especiales.
 - Inclusive en Europa, donde existe el sistema de “Roaming como en casa” (RLAH), existen regulatoriamente límites de uso a las tarifas del país de origen si el tiempo de roaming supera el de uso doméstico, medido en 4 meses. Por ello, el roaming permanente es restringido.
 - Países como China, Canadá, Turquía, entre otros, han establecido restricciones al roaming permanente.

³¹ Intel con base en análisis de Harbor Research.

- En general no existe seguridad generalizada en los países en cuanto a que se permita el roaming permanente, lo que impide trabajar con seguridad en múltiples geografías.
- Adicionalmente cuando se trabaja con cientos o miles de dispositivos en un sistema es inviable solucionar problemas de conectividad como los mencionados, y menos empleando las tarjetas SIM tradicionales.
- Por otra parte, el 80% de los acuerdos de roaming no soportan las tecnologías de ahorro de consumo PSM y eDRX, afectando la duración de las baterías. Estas funciones están habilitadas para las conexiones locales, como las que permite la eSIM en múltiples países.

Para solucionar todas estas dificultades de una manera práctica y eficiente la GSMA ha desarrollado la tecnología eSIM, descrita como una tarjeta de circuito integrado universal embebida (Embedded universal integrated circuit card (eUICC). Estas tarjetas están soldadas a los dispositivos, no son removibles y las credenciales de conexión son configurables remotamente (OTA – Over the Air) en un proceso de autoarranque (Bootstrapping) al encender el dispositivo. Adicionalmente tienen otras facilidades como disponer de una identidad en el autoarranque y permitir la automatización segura de la activación e incorporación al sistema IoT.

El aspecto principal es que, durante la vida de los dispositivos de 10 a 15 años, no es necesario ir a cada dispositivo para agregar o cambiar el operador de acceso. Junto con la localización permite también automatizar la selección de un nuevo operador y la activación remota de la suscripción.

Desde el punto de vista de los fabricantes se simplifica el suministro a través de una eSIM única de uso global.

La posibilidad de almacenar una cantidad de perfiles, que pueden ser cargados remotamente (OTA), permite la conmutación rápida de un operador a otro manteniendo la conectividad dentro de un país (en caso de fallas o baja cobertura) o entre países.

Este avance a favor del despliegue de redes IoT aún se encuentra en proceso ya que requiere del despliegue de las infraestructuras globales de soporte, con sus dificultades técnicas y comerciales de implementación.

H. Costos referenciales

Se presenta, solamente como referencia, una estimación del costo total de despliegue (TCO) a 10 años de tres tecnologías en cuatro situaciones, según un estudio de febrero de 2021 de la Comisión de Tecnologías de la Información y Comunicaciones de Arabia Saudita. Se considera la región de Paris - Île-de-France como área de despliegue de referencia. Para una evaluación más precisa, previa a una decisión de inversión, junto a estos costos es necesario considerar las prestaciones de cada red y otros factores.

Cuadro 4
CAPEX y OPEX estimados de despliegue de LTE – IoT

Valores en millones de dólares	LTE- IoT Greenfield	LTE – IoT superpuesta a 4G	Sigfox	LoRa
CAPEX	173	31	6	10
OPEX Anual	6	5	1	3
<i>Costo total de despliegue en 10 años</i>	233	81	16	40

Fuente: Elaboración propia sobre información publicada por la Comisión de Tecnologías de la Información y Comunicaciones de Arabia Saudita.

IV. Desarrollo actual y proyecciones de crecimiento de la IoT en los países de COMTELCA

A. Definición y clasificación de la IoT

A los efectos del análisis de su despliegue, y de las políticas relativas a la IoT, es importante disponer de una definición y de una clasificación en categorías principales para la medición. A estos efectos se adopta lo recomendado por la OECD.

La definición general de IoT según la OCDE es³², “el Internet de las Cosas incluye todos los dispositivos y objetos cuyo estado puede ser alterado a través de Internet, con o sin la participación de personas. Si bien los objetos conectados pueden requerir la participación de dispositivos que se consideran parte del “Internet tradicional”, esta definición excluye las laptops, las tabletas y los teléfonos inteligentes ya considerados en los indicadores actuales de banda ancha de la OCDE”.

Para informar mejor a los rectores de políticas, y a los analistas, con mediciones bien definidas, propone una clasificación de la IoT en categorías considerando los diferentes requerimientos de red en general, y no solamente en el acceso.

Las dos categorías principales de IoT³³ son: IoT de Área Amplia (WAN) e IoT de Corto Alcance (LAN). La categoría de IoT WAN incluye los dispositivos que emplean accesos del grupo 3GPP (servicios móviles), así como aquellos conectados usando accesos LPWAN propietarios. La categoría IoT LAN incluye los dispositivos que utilizan accesos con espectro no licenciado y con un alcance normal de hasta 100 metros. La OCDE propone además dos subcategorías para el IoT WAN, tal cual se definen en este trabajo, en el capítulo II, sección D. “Principales ejes en la prestación de servicios 5G. Impacto socio económico”: 1)

³² OECD Digital Economy Outlook 2020.

³³ Medición y aplicaciones del IoT. OECD. Octubre 2018.

Dispositivos M2M masivos, también llamados de comunicaciones mMTC y 2) Dispositivos para aplicaciones críticas o cMTC.

Para la correcta aplicación de las mediciones publicadas por la OCDE, en el documento más reciente se destaca lo siguiente sobre medición y aplicaciones del IoT: “Para calcular el número de abonados al servicio móvil celular M2M/embebido éste se define como “el número de tarjetas SIM asignadas para su uso en máquinas y dispositivos (automóviles, sensores inteligentes y electrónica de consumo) y que no forman parte de una suscripción de consumo”. Esto significa que los adaptadores (dongles) para datos móviles y los abonos a tabletas deben contabilizarse por los países bajo la definición de banda ancha móvil, mientras que las tarjetas SIM en dispositivos de navegación personal, medidores inteligentes, trenes, automóviles, etc., deben contabilizarse en la categoría M2M.”

Por otra parte, en estos registros se presentan las cantidades de dispositivos a través del país de asignación de las tarjetas SIM, pero no del país donde se usan. Por esa razón puede existir un país con una teledensidad muy alta de tarjetas SIM M2M conectadas, debido a que uno de sus operadores tiene una alta penetración en el extranjero (p.e. Telenor Connection en Suecia) a través de itinerancia permanente.

Otro factor que dificultará las mediciones del uso real de la IoT en los países es que algunos reguladores están asignando numeraciones M2M extraterritoriales, como Alemania, Bélgica o los Países Bajos.

Es necesario analizar los datos sobre teledensidad de dispositivos M2M con esta óptica, lo que muestra algunas incertidumbres iniciales y difíciles de cuantificar.

Por otro lado, la GSMA tiene una definición de trabajo para relevar la cantidad de dispositivos M2M conectados: “Una tarjeta SIM única registrada en la red móvil al final del periodo, que permite la transmisión de datos móviles entre dos o más máquinas. Excluye los dispositivos informáticos de la electrónica de consumo, como los lectores electrónicos, los teléfonos inteligentes, los accesorios de conexión y las tabletas”. No coincide totalmente con la definición de la OCDE, pero es similar.

Otras entidades o vendedores tienen definiciones similares, aunque no totalmente iguales, por lo que en el momento de comparar resultados de varias fuentes es necesario tener en cuenta estas consideraciones.

B. Despliegues comerciales actuales de tecnologías de acceso IoT en los países de COMTELCA

Existen en este momento del orden de 50.000 millones de dispositivos en el mundo, entre los que se destacan por su cantidad los que emplean las tecnologías NB-IoT o LTE-M, SIGFOX y LoRa WAN.

Las tecnologías del 3GPP son empleadas por los operadores sobre modelos de negocio que incluyen desde la conectividad hasta la provisión de las soluciones completas, a partir de las redes ya desplegadas para los servicios móviles.

En cuanto a SIGFOX, la empresa es dueña de toda su tecnología desde el backend y los servidores en la nube hasta el software de interfaz con las aplicaciones. Su diferencia con otras tecnologías es que, bajo ciertas condiciones comerciales, SIGFOX cede a terceros la tecnología de los terminales de usuario. El negocio se basa en la venta de la red de software como un servicio, SaaS. También existen casos en que la propia SIGFOX ha desplegado su red como son los de Estados Unidos y Francia. Los operadores de red SIGFOX gozan de exclusividad en el área designada. Se observa que en los países de COMTELCA el operador designado es WND Group.

En el caso de LoRa, el modelo es en principio más abierto pues las especificaciones están publicadas en la LoRa Alliance. El cierre del negocio se encuentra en que solamente Semtech es

fabricante de la radio de LoRa, u otros proveedores embebiendo el chip de Semtech. En este caso, el despliegue de redes LoRa es abierto.

Los despliegues actuales de las tecnologías del 3GPP (LTE-M y NB-IoT), así como de SIGFOX y LoRa WAN en los países de COMTELCA son los siguientes:

- Grupo 3GPP³⁴. De acuerdo con la GSMA, solo México tiene actualmente despliegues comerciales en LTE-M de los operadores AT&T y América Móvil. La OECD provee la información estadística de estos despliegues en años anteriores.
- SIGFOX³⁵. Las cuatro redes actuales en países de COMTELCA han sido desplegadas y gestionadas por el operador WND Group³⁶, el que las opera comercialmente. Tiene coberturas en El Salvador (incluyendo su capital), Panamá (incluyendo Ciudad de Panamá y Colón), Guatemala (residual de México, no incluyendo Ciudad de Guatemala, y con cobertura en la frontera próxima -10 Km.- a Tapachula, Chiapas, México), y coberturas extendidas en Costa Rica y México.
- LoRa WAN³⁷. Según la información publicada por LoRa Alliance acerca de los 151 operadores de red LoRa WAN en 168 países, dónde nos interesa presenta cobertura global de red³⁸ en México, Guatemala, Honduras, Costa Rica y Panamá. No existen en los países de COMTELCA operadores públicos de red Lora WAN³⁹. Por otra parte, existen redes abiertas comunitarias⁴⁰ en El Salvador y República Dominicana, así como en los países con cobertura global. No están registradas en este momento⁴¹ las redes privadas, que no están abiertas a la monetización por terceras partes, las que serían identificadas próximamente.

C. México

México es el país de COMTELCA con mayor desarrollo de los sistemas IoT. En cuanto a la cuantificación del despliegue, es conveniente separarlo en dos partes: el de terminales M2M que usan las redes móviles del 3GPP, y el de las tecnologías propietarias que incluyen coberturas extendidas de SIGFOX y LoRaWAN, así como de otras tecnologías LPWAN.

1. Redes móviles

La OECD es la principal fuente de información para las redes móviles.

La evolución del despliegue de terminales M2M, elaborada por la OECD⁴² se basa hasta ahora en los datos que provienen de las suscripciones M2M a los operadores móviles celulares.

Se entiende que, como se justifica en este trabajo, el crecimiento de la Productividad Total de los Factores (PTF) por efecto de la IoT es función, entre otros indicadores de menor impacto, de la evolución del número de terminales IoT por 100 habitantes (teledensidad) o de la inversión en esta tecnología, por

³⁴ <https://www.gsma.com/iot/mobile-iot-commercial-launches/>.

³⁵ <https://www.sigfox.com/en/coverage>.

³⁶ <https://www.wndgroup.io/>.

³⁷ <https://lora-alliance.org/>.

³⁸ La cobertura global de red es la agregación de cualquier tipo de red LoRaWAN.

³⁹ Los operadores públicos son quienes operan redes LoRaWAN que se monetizan a través de la venta de servicios extremo a extremo a terceros.

⁴⁰ Las redes abiertas comunitarias son empleadas por comunidades de desarrolladores.

⁴¹ 29 de abril de 2021.

⁴² <https://stats.oecd.org/Index.aspx?QueryId=85175#>.

lo que la disponibilidad de datos es necesariamente un asunto de gran interés. También se observará que la PTF es el principal vector de crecimiento económico por efecto de la IoT.

Comparando las teledensidades de M2M en países seleccionados de la OECD se tienen los valores que se observan en la tabla que sigue.

Los países de la OECD en su totalidad han tenido una CAGR del 23,9% en los últimos 5 años hasta 2019, frente a 10,3% de México. En el período 2018 – 2019 los países de la OECD que registran datos han tenido un crecimiento anual del 30%, frente a 5% en México.

De acuerdo con lo ya expresado en cuanto al uso de numeración SIM M2M fuera del país que la asigna, se observan las distorsiones en la tabla, considerando por ejemplo las altas tasas de teledensidad de Alemania y Suecia.

Suecia presenta valores comparativamente muy altos pues el 61% de las tarjetas SIM de M2M las emplea uno de los operadores en otros países bajo el régimen de itinerancia permanente. De todas formas 56,9 tarjetas por 100 habitantes son empleadas en el territorio sueco, lo que igualmente representa un valor comparativamente elevado.

Cuadro 5
Teledensidad en países seleccionados de la OECD
(En dispositivos por habitante)

	2015	2016	2017	2018	2019	CAGR
Chile	2,1	2,7	2,8	2,9	2,7	5,8%
Estonia	13,8	17,8	19,0	21,5	25,9	17,1%
Alemania	8,2	13,5	21,3	27,9	35,7	44,5%
Japón	9,9	12,1	14,2	17,1	21,7	21,6%
Corea	7,3	9,4	11,4	15,2	18,6	26,5%
México	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0	10,3%
Suecia	68,8	87,2	113,8	126,4	146,0	20,7%
Estados Unidos	15,2	17,7	28,8	31,8	38,5	26,2%
OECD - Total	10,0	12,1	16,7	19,5	23,4	23,9%

Fuente: Elaboración propia sobre datos publicados por la OECD.

Se observa que México se encuentra, aun considerando el efecto extraterritorial, con teledensidades de IoT de redes móviles muy bajas respecto de los países seleccionados y del promedio de la OECD, y además tiene una tasa de crecimiento promedio sensiblemente menor que ellos.

Estos números están indicando que la evolución de los países más avanzados es y se mantendrá por el momento por encima de México, lo que podría afectar su productividad comparada en todos los verticales influenciados por los avances de la IoT.

También se observan variaciones importantes de los crecimientos interanuales de entre 6,57% (2016) y 14,71% (2018), lo que es típico de las etapas iniciales de despliegues tecnológicos.

Por otro lado, en una exposición del Instituto Federal de Telecomunicaciones de mayo de 2019⁴³ se indica que en ese momento existían en México 8.9 millones de conexiones IoT en bandas celulares concesionadas, de las cuales el 98% son M2M y el 2% son LPWA. Esto equivalía al 7% de teledensidad, superior al indicado por la OECD, pero igualmente inferior al de los países de la OECD.

⁴³ Ramiro Camacho Castillo, Comisionado. *IoT y 5G*. Instituto Federal de Telecomunicaciones, Ciudad de México, mayo 2019

2. Otras redes LPWAN de IoT

No ha sido posible obtener información desagregada sobre el avance de estas otras redes LPWAN, a pesar de las investigaciones realizadas a través de fuentes públicas y de fuentes secundarias de firmas que hacen investigaciones de mercado. La existencia de otros operadores que proveen servicios de conectividad para IoT fuera de los accesos del 3GPP (operadores móviles) genera dificultades para los rectores de políticas públicas debido al papel que estos operadores juegan en el desarrollo de la IoT, y que aún no se pueda disponer de sus datos.

Solamente se pudo obtener información agregada de todos los tipos de las redes LPWAN, sobre el CAPEX acumulado para México⁴⁴, en una proyección hasta 2025. La información agregada es precisamente la necesaria para estimar el impacto en la PTF.

Cuadro 6
CAPEX agregado en LPWAN para México
(En millones de dólares)

2020	2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
\$ 1 146,76	\$ 1 339,61	\$ 1 606,46	\$ 2 058,77	\$ 2 614,49	\$ 3 047,93	21,59%

Fuente: Elaboración propia sobre Información provista por Intel con base en IDC (2021).

Se observa una CAGR del CAPEX del 21,59% hasta 2025 bien superior a la CAGR de crecimiento 2015 – 2019 de teledensidad que surge de la OECD, que es del 10,3% en el período 2015-2019. También estas proyecciones presentan variaciones en los crecimientos interanuales de entre 17% (2021) y 28% (2023).

Estos resultados resultan consistentes con los publicados por otra empresa⁴⁵ de análisis de mercado para todas las tecnologías y a nivel global:

- Aumento estimado del gasto en IoT empresarial del 24% en 2021.
- Más allá de 2021 se estima el 26,7% p.a. entre 2022 y 2025.
- Los crecimientos en 2020 se vieron afectados por la pandemia, estimándose en 12,1% a nivel global, 17% en Asia Pacífico, 14,9% en América del Norte y 9,7% en Europa. Mientras tanto China tuvo un crecimiento del 23,5%.

D. Países de COMTELCA menos México

1. Redes móviles

Según es publicado por la GSMA, y como ya se indicó, solo México tiene actualmente despliegues comerciales en LTE-M de los operadores AT&T y América Móvil.

La situación para estos otros países se percibe como de mayor brecha con los países más avanzados que la que podría presentar México.

2. Otras redes LPWAN de IoT

Con respecto a estas otras redes LPWAN no ha sido posible obtener información sobre el avance del despliegue, a pesar de las investigaciones realizadas a través de fuentes públicas y de fuentes secundarias de firmas que hacen investigaciones de mercado.

⁴⁴ Información provista por Intel con base en IDC (2021).

⁴⁵ IoT Analytics. Junio de 2021. www.iot-analytics.com.

La falta de información, que se entiende natural en el ambiente de competencia, de los despliegues de otros operadores que proveen servicios de conectividad para IoT fuera de los accesos del 3GPP (operadores móviles), genera las dificultades ya mencionadas para los rectores de políticas públicas.

De todas maneras, podría interpretarse que la teledensidad es sensiblemente menor que en México considerando que la IoT parece no estar aun justificando la inversión en despliegues de los operadores móviles.

3. Distribución del gasto en IoT en Latinoamérica

A título referencial se presenta la distribución consolidada del gasto en IoT, estimado para el año 2022, por grandes verticales y para los países seleccionados: Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México⁴⁶.

Cuadro 7
Distribución consolidada de CAPEX de IoT en países seleccionados
(En porcentajes)

Vertical	2022
Construcción	2,98
Consumo	6,44
Industria manufacturera	21,81
Gobiernos central, estatal y local	10,12
Proveedores de salud	5,41
Industria extractiva	15,56
Transporte	6,31
Comercio minorista	7,12
Servicios públicos	8,12
Otros	16,12
TOTAL	100,00

Fuente: Cálculos de Intel con base en IDC para 2022.

Si bien estos datos no son trasladables directamente a los países de COMTELCA, proveen una visión estimativa de lo que pueden ser los verticales dominantes en ellos: industrias manufacturera y extractiva, gobiernos y servicios públicos.

E. Conclusiones

En estas conclusiones se observan dos situaciones:

- i) Respecto de México podría estimarse el crecimiento actual de todos los tipos de IoT (3GPP y no 3GPP), sin contar los efectos a determinar debido a la pandemia, es decir de acuerdo con la tendencia histórica y las proyecciones, sea en teledensidad o CAPEX, del orden del 17%. Para ello se considera el crecimiento del 10,3% de la teledensidad entre 2015 y 2019, el crecimiento estimado total del 17% en 2020 - 2021 para el gasto en todas las tecnologías y el CAGR del 21,59% en el período 2020 – 2025.
- ii) Con relación a los demás países de COMTELCA no se dispone de información suficiente para efectuar una estimación.

⁴⁶ Cálculos de Intel con base en IDC para 2022.

V. Estimación del impacto de la IoT en el desarrollo económico

El despliegue previsto de los sistemas IoT proveerá importantes impactos socio económicos positivos a través de las reducciones de costos de productos y servicios debido al aumento de la productividad y del crecimiento de los factores, la creación de valor en general, y el crecimiento económico. La introducción de plataformas que permitan el mejoramiento del control y de la automatización facilitará a los productores de bienes y servicios atacar ineficiencias, mejorar el *time to market*, cambiar los modelos de negocio para beneficio de productores y consumidores intermedios y finales, reducir el desperdicio y asegurar mejores procesos. Serán un impulso para el aumento del capital humano a través de la educación general, de la actualización de la mano de obra y el mejoramiento de la salud, entre otros efectos. Las ciudades también mejorarán las prestaciones para los ciudadanos en términos de seguridad y eficiencia, y reduciendo los tiempos perdidos. La contrapartida potencial importante es el riesgo de la pérdida de puestos laborales, cuyo efecto especial está en discusión, pero que requerirá especial atención principalmente a través de políticas que tiendan a evitar esta situación. La falta de políticas y del conocimiento detallado de estos efectos puede provocar problemas importantes de empleo, aunque más no sea porque otros países sí toman medidas de protección.

En las secciones siguientes se observarán aspectos cualitativos y cuantitativos de estos cambios, y más adelante las políticas requeridas para responder a ellos.

A. Visión cualitativa: IoT, servicios avanzados e Industria 4.0.

El término Industria 4.0, luego extendido a otros verticales que incorporan la IoT (logística 4.0, salud 4.0, otros) fue definido en 2011 por la Alianza Alemana para la Investigación Científica Industrial (Forschungsunion). Se refiere originalmente a la digitalización de la producción industrial, incluyendo los dispositivos ciber físicos (robots) y la interconexión completa entre las máquinas y los procesos con

mínima o despreciable intervención humana, con control en tiempo real a través de las TIC y el uso de los Grandes Datos y la Analítica, la Computación en el Borde y/o en la Nube, la Inteligencia Artificial, el “Machine Learning” y demás tecnologías avanzadas.

Es parte de lo que se llama la Industria de Cuarta Generación. La Industria 4.0 se llama “Industrie du Futur” en Francia o “Industrial Internet of Things – IIoT” en EEUU.

La incorporación de estas nuevas tecnologías a los procesos productivos, a las relaciones productor - consumidor, a los servicios prestados a la sociedad, a los productos y a la vida en sociedad en general, es una fuente de generación de valor que puede aprovecharse para mejorar el bienestar de la población, para lo cual se analizan políticas que impulsan el desarrollo en ese sentido.

1. Cambios progresivos en la producción

La introducción de la digitalización y de la automatización a través de la IoT aumenta el valor económico generado, pero el impacto mayor en la sociedad se obtiene cuando eso viene complementado con la modificación conceptual y práctica de los procesos y de los modelos de negocio para adaptarlos a la IoT. O sea que se debería aprovechar el doble efecto, directo e indirecto, de la introducción de la IoT. El inicio del despliegue de la IoT y la modificación de los procesos ya es visible, pero el impacto transformacional de esta tecnología en los modelos de negocio es gradual. Un ejemplo destacado del cambio en los modelos de negocio es la servitización de los productos, lo que se analiza más adelante.

Uno de los casos paradigmáticos del impacto de estos cambios de modelo es en las Grandes Cadena de Valor (GCV), que actualmente emplean el patrón de grandes producciones, tercerización de insumos parcialmente manufacturados, uso más intensivo de mano de obra de bajo costo y demoras en la entrega de los productos por vía marítima. Esta tendencia de las empresas europeas y de EEUU por décadas, comienza a revertirse a partir de la Industria 4.0, y ha dado lugar a una mayor atención por efecto de la pandemia de la COVID que ha introducido riesgos de mantenimiento de las cadenas de valor. La industria avanzada está erosionando las diferencias de costos de la mano de obra e impulsando el llamado “reshoring” o “nearshoring” de instalaciones de menor porte, acortando las cadenas de valor, en que aparte de la importancia que tiene que las empresas de menor tamaño puedan lograr ahora buenas economías de escala, se obtienen las ventajas de la cercanía con el cliente y la diversificación del riesgo.

Un resultado global de la aplicación de la digitalización y la IoT es la optimización de la producción, resultando en un aumento de la competitividad global. Dentro de esa carrera global, la competitividad aumentará decisivamente en los países que evolucionen primero, por lo que implícitamente existe ya una carrera entre países en que, para no perder terreno, deberían por lo menos mantener el equilibrio comercial. La Industria 4.0 también es hoy en día un objetivo de trabajo crucial para las empresas de alta tecnología que desean mantener su cuota de mercado en una economía dinámica y una sociedad que avanza hacia la digitalización.

2. Visión social

Un documento publicado por Friedrich Ebert Stiftung⁴⁷ presenta una visión social importante a tener en consideración frente a los cambios que se están produciendo. Ésta es una referencia principal de esta sección.

Hasta este momento las evoluciones desde los puntos de vista social, económico y político se han encarado en general con una visión principalmente tecnológica. Pero considerando que el impacto realmente importante es en la sociedad, es necesario introducir el papel y objetivo de los ciudadanos en el diseño, la implementación y la producción, junto a las máquinas. Las innovaciones sociales deberían ser analizadas al igual que las tecnológicas, ya que incluyen nuevas prácticas para enfrentar desafíos

⁴⁷ Buhr, Daniel. *Social Innovation Policy for Industry 4.0*. 2017. Friedrich Ebert Stiftung.

sociales que afectan a las personas, grupos y organizaciones. Por otra parte, su atención facilitará el desarrollo de las innovaciones tecnológicas en una suerte de círculo virtuoso. En el fondo de esta revolución estarán las personas, las cosas, los procesos, los servicios y los datos interconectados.

La producción se volverá más eficiente y empresas menores que las actuales lograrán suficientes economías de escala que permitirán producciones menores, hasta el nivel de unidades, de acuerdo con lo que los clientes requieran. Cambios importantes también se han de producir en los servicios y en los modelos de negocio en general. Pero existirá un impacto en la sociedad debido a la prescindencia de personas cuya especialidad o su trabajo puro ya no serán necesarios, y se producirá el requerimiento de personas con más capacitación para tareas nuevas.

En cuanto a la Industria 4.0, un término preciso en cuanto a su alcance, acuñado en Alemania, suele ser sustituido por uno considerado más amplio como es la "Cuarta Revolución Industrial", la que es considerada como una nueva estructuración y dirección de la cadena de valor, la que acompaña progresivamente los requerimientos de los consumidores. Estos cambios implican redes interempresariales de creación de valor, dinámicas, optimizadas en tiempo real y auto organizables, con optimizaciones de acuerdo con diferentes criterios como ser calidad, costos, disponibilidad, uso de recursos y otros. Según el documento analizado, "esta visión es acerca de la eficiencia en su forma más pura: máxima flexibilidad con un flujo perfecto de creación de valor".

Un asunto para destacar en cuanto al impacto social, principalmente en los países en vías de desarrollo, es cómo se alinean éstos con estos importantes cambios que se producen principalmente en los países más avanzados. Se distinguen dos aspectos a considerar en este sentido:

- i) La introducción de estos avances en los países menos desarrollados va a provocar en primer lugar un impacto sobre el empleo. La mitigación de este impacto debería de surgir de políticas principalmente vinculadas a la formación permanente y la educación formal, como se analiza en este documento. La idea es preparar a los ciudadanos a corto y largo plazo para enfrentar el desarrollo tecnológico, e incorporarlos en sus actividades en un escalón superior. Se considera que de todas maneras existirán fricciones de empleo debido a la no adaptación automática de la mano de obra a los nuevos escenarios. Este aspecto es de gran importancia considerando la situación regional, y la necesidad de disponer de los recursos humanos y materiales para la formación que produzca los cambios en el conocimiento y en la cultura. Es también la cuestión más prioritaria frente a estos avances principalmente considerando las políticas de los países más avanzados.
- ii) Por otra parte, la primera reacción que se ha observado en algunos sectores y países, en cuanto a buscar limitar la introducción de estos avances a través de políticas de desaliento de la inversión que no genere más puestos de trabajo, o proponer aplicar los impuestos a la Seguridad Social también a las máquinas, entre otros, puede conducir a un atraso tecnológico inevitable debido a que los países más avanzados impulsan la eficiencia a través del desarrollo tecnológico y ya se encuentran aplicando políticas que lo impulsan y preparan a sus ciudadanos para este nuevo entorno. Por ello se entiende que, la alternativa de frenar estos desarrollos no es una solución para el impacto social negativo, debido a que permitirá que se agrande la brecha tecnológica entre países y por tanto la brecha de eficiencia, que provocará el aumento del desbalance del desarrollo económico que sin duda tendrá un impacto social negativo.

3. Impacto de la Industria 4.0 en las capacidades dinámicas

La introducción de la Industria 4.0 genera cambios en la producción, principalmente en la transformación digital de las dimensiones de sostenibilidad de las industrias manufactureras, los que se analizan en un

trabajo orientado a estos aspectos⁴⁸ y haciendo foco en las capacidades dinámicas. Estas capacidades permiten una respuesta oportuna, y una innovación rápida y flexible de los procesos, junto con la capacidad de gestión para coordinar y redistribuir eficazmente las competencias internas y externas.

Aparte de la introducción de infraestructura productiva destinada al aumento de la productividad de los procesos y principalmente a través de la IoT, es necesario el empleo de actividades de recopilación y procesamiento de gran cantidad de información y datos que permita conectar lo más automáticamente posible al cliente con el sistema productivo, sea éste B2C o B2B. De esta manera se mejora sustancialmente la relación con los clientes finales, aun cuando las compras se realicen en empresas minoristas, incluyendo la posibilidad de realizar compras personalizadas con indicaciones que llegan directamente al fabricante, que podrá a su vez personalizar la producción en forma automática.

Estas tecnologías tendrán importantes efectos en las capacidades y crearán un nuevo potencial para las empresas que cambian la gestión estratégica, lo que puede conducir a una mejor competitividad sostenible. Se desarrollan así mejores servicios logísticos y de transporte, relacionamiento más eficiente con los socios de la cadena de valor hasta los minoristas y mejora también el comportamiento financiero, todo lo cual mejora la sostenibilidad económica. Esto crea un mayor nivel de servicios logísticos, procesos más eficientes con sus socios, y un mayor rendimiento y competitividad financiera y de mercado, lo que a su vez se traduce en una mayor sostenibilidad económica. Muchas veces la introducción de la Industria 4.0 va acompañada de prácticas de búsqueda de eficiencia y eliminación de pérdidas innecesarias, multiplicando el efecto.

Los estudios realizados en Europa también permiten ver que es posible mejorar la productividad y la protección ambiental al mismo tiempo, otro asunto a analizar en este proceso e implementar a través de las políticas.

La Industria 4.0 es además un motor para la educación, el desarrollo de habilidades, el trabajo especializado y la educación continua de los trabajadores, requiriendo adoptar un enfoque más dinámico y sistémico para las prácticas de gestión del talento. Existe un gran peligro de no cerrar la brecha de conocimiento del trabajador debido al cambio brusco de capacidades que esta tendencia conlleva, agregado a un concepto nuevo que es la adaptabilidad más allá del conocimiento específico.

4. Impacto en empresas y sectores

Alemania es considerada la cuna de la Industria 4.0 y una referencia en este caso, por lo que se justifica analizar el impacto en este país y mostrar algunos resultados al respecto.

En cuanto a la percepción sobre la importancia de la digitalización, se observa que las grandes empresas son las mejor preparadas y conscientes de la importancia de la digitalización y el avance hacia la Industria 4.0, mientras que las de menor tamaño en su mayoría no perciben la importancia de este camino.

En cuanto al mercado laboral en Alemania, aún no es claro si estos cambios resultarán en una pérdida de puestos de trabajo, o solamente en una evolución. En cualquier caso, resulta claro que el trabajo continuará siendo importante en la producción. Se estima que existirá una mayor amalgama entre los trabajadores con conocimientos y los trabajadores tradicionales de línea. Los procesos proveerán una variedad importante de sistemas de asistencia a los trabajadores, principalmente en la administración y en la producción. Se prevé que el segmento de trabajadores con especialización media serán los primeros en verse afectados por la automatización provocando una polarización en el empleo. Al mismo tiempo se estima que en EE. UU. el impacto puede afectar a la mitad de los trabajadores.

⁴⁸ Fahham Hasan Qaiser, Alok Choudhary, Gerald Reiner. *The impact of Industry 4.0 on the reconciliation of dynamic capabilities: evidence from the European manufacturing industries*. 2020.

Un punto importante para destacar es que podría producirse un crecimiento de los trabajadores tercerizados con menores beneficios sociales y menores costos, proveyendo servicios basados en la digitalización.

Otra visión tiene relación con la nueva organización empresarial, que debería ser rediseñada en su sistema técnico – social de producción, aunque no se percibe aún el mejor sistema. En principio podría evolucionar hacia dos extremos, o a una mezcla de ellos:

- i) Una organización polarizada con un nivel directivo con personal altamente capacitado y flexible (ingenieros, trabajadores de planta con nuevas especializaciones, otros) y un nivel ejecutivo con personal medianamente especializado. Esta organización toma la tendencia de mantener una diferenciación interna en términos de tareas, calificaciones y ocupación del personal. Es adecuada a una organización con una estructura simple de tareas, poco flexible y que requiere personal nuevo altamente calificado y flexible.
- ii) Una organización más horizontal, con una red de personal altamente calificado y personal especializado con alta flexibilidad, y que no exista personal rígidamente ligado a una tarea. Ya no considera tareas de baja calificación, las que han sido automatizadas. Se basa en una forma más laxa de relacionamiento social en la organización.

En ambos escenarios el capital humano se mantiene en el rol central de la toma de decisiones. Una innovación social, y la introducción de la IoT es la que la provoca, es en general una solución nueva para un desafío de la sociedad, la que es más eficiente, sostenible y equitativa que las prácticas existentes. Es importante que estas innovaciones vengan respaldadas por las partes interesadas de la Sociedad. La innovación social puede tomar varias formas: una ley, un modelo de negocio, un principio, un cambio de comportamiento, entre otros; o una combinación de ellos. Las innovaciones técnicas pueden impactar en las innovaciones sociales y viceversa.

Las innovaciones técnicas solamente desarrollan su potencial en combinación con innovaciones sociales. Todo esto debe ser tenido en mente durante el desarrollo de la Industria 4.0.

5. Impacto de la IoT en la optimización de los servicios y en la servitización de los productos

La optimización de los servicios con la IoT proviene de que el proveedor puede tener una información más detallada y en tiempo real sobre múltiples indicadores que impactan en el costo del servicio, modificando las políticas de prestación para su optimización.

Un buen ejemplo es el de Rolls Royce, para su línea de turbinas, en que mediante el empleo profundo de la IoT ha reorganizado sus servicios sobre operaciones 365/7/24 con Microsoft y su plataforma Azure, desde una base de operaciones en el Reino Unido, y desde la cual supervisa sus turbinas en tiempo real y en vuelo, ajustando el mantenimiento a los requerimientos y no bajo períodos preestablecidos, logrando una extensión promedio del tiempo entre servicios del 25%. El registro y almacenamiento de Grandes Datos sobre el rendimiento de los motores, y el uso de la Inteligencia Artificial, permite a Rolls-Royce ofrecer servicios de mantenimiento predictivo y reducir tiempos imprevistos de inactividad, o aquellos de inactividad innecesaria.

Otro ejemplo es el de General Electric (GE), que pasó de vender productos industriales tradicionales a vender paquetes "XaaS". El modelo de negocio se llama "Power by the Hour", en que vende sus motores como servicio, usando intensamente la IoT. Vende sus motores por el tiempo empleado mientras el cliente realmente está volando.

En la India, Aeris⁴⁹ y “Hello Tractors” lanzaron una operación para la provisión de tractores, en un país con muchos agricultores pequeños, en que pagan de acuerdo con el uso, usando IoT para determinar el tiempo de uso y área cubierta, aparte de otros indicadores de uso.

El alcance de la optimización a través del empleo de la IoT es ilimitado para todos aquellos servicios sobre máquinas o sistemas complejos: robots, equipamiento médico, HVAC, gasoductos y oleoductos, redes de energía, maquinaria vial, otros. En lugar de reparar una máquina o un sistema cuando falla, o repararla preventivamente, mediante la instalación intensiva de la IoT se recopila permanentemente información, y mediante la analítica de los Grandes Datos, la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquinas es posible realizar un mantenimiento predictivo mucho más eficiente.

Por otro lado, la servitización se inserta en una tendencia que ya abarca múltiples áreas desde hace años (hardware y software, comunicaciones, otros), pero ha obtenido un gran impulso y profundización con el desarrollo de la IoT y la Industria 4.0. Básicamente consiste en transformar la venta de un producto a través de un pago (financiado o no), en la venta del servicio que ese producto provee y a través de pagos por uso, recurrentes fijos o variables de acuerdo con el uso. Se incluye no solamente el derecho al uso del producto, sino también la instalación, el mantenimiento, las actualizaciones y los servicios de soporte.

Este servicio, cuando contiene un fuerte contenido de IoT, incluye no solo el servicio directamente provisto, sino el hardware, el software y la conectividad necesarias para su supervisión y comando, la plataforma para que el cliente desarrolle su propia aplicación, el mantenimiento, el diseño, entre otros.

En las telecomunicaciones ya hace años que los proveedores comenzaron a proveer equipamiento que es pagado principalmente a través del volumen de servicio que presta. Por ejemplo, se aplica en redes de acceso móvil en que la capacidad de tráfico de las radiobases se paga por licencias con base en el tráfico soportado, y no como una capacidad instalada siempre superior a la necesaria. Los Controladores están conectados al proveedor, quien habilita y cobra la capacidad adicional de acuerdo con los criterios acordados con el operador. En el área de IT también son conocidos los servicios en la nube en que el hardware, el software y las aplicaciones se pagan como un servicio.

Con el desarrollo de la IoT todas las empresas necesitan reconsiderar, en un ambiente competitivo, su posición en el mercado y estar en condiciones de realizar nuevas proposiciones a sus clientes, y a los potenciales nuevos clientes, a través de la servitización. La IoT, la analítica de los Grande Datos y la Inteligencia Artificial jugarán un importante papel en este proceso, teniendo como contrapartida un riesgo mayor que la venta de un producto y el aumento lógico de sus márgenes de ganancia. Con estas tecnologías se tienen opciones más viables y de relevamiento detallado de uso para dar seguimiento al uso del producto optimizando el mantenimiento, el control del empleo correcto, y ajustar mejor el monto de los pagos.

La servitización es un estado más avanzado de la compartición de activos como son el arrendamiento y el arrendamiento con opción a compra. Un ejemplo muy representativo es referido a los automóviles, para los cuales existen desde hace años las dos opciones mencionadas. En la compartición (car sharing), los automóviles no pasan por controles físicos intermedios entre usuario y usuario, sino que el despliegue intenso de la IoT permite el seguimiento remoto detallado de los indicadores principales de uso y estado del vehículo (maltrato, choques, etc.), y además aplicar mantenimiento predictivo. Es parte de la “Sharing economy” en general, que se caracteriza por la compartición de un activo entre personas, generalmente de alto valor y que es subutilizado.

Varios fabricantes como Daimler A.G., Tesla, BMW o General Motors han desarrollado programas de compartición buscando acceder a un mercado altamente marcado por la subutilización de los activos. A pesar de los estudios previos que indicaron una alta demanda estimada e interés de

⁴⁹ <https://www.aeris.com/> es el proveedor de la plataforma IoT.

empresas en participar en este negocio, algunos de estos fabricantes se han ido retirando del mercado en un proceso agravado luego por la pandemia. Daimler se retiró de sus mercados entre 2019 y 2020 y General Motors en abril de 2020. Mientras tanto Tesla, Citroën y otros, a través de empresas como Free2Move, Zipcar, Revel y otros, están expandiéndose en Europa y EE. UU.

Esta modalidad de suministro se está extendiendo en la medida en que se expande el uso de la Internet de las Cosas interconectando los productos, y la generalización progresiva de una economía orientada a la gestión de datos.

En este nuevo modelo el proveedor puede recibir permanentemente información de sus clientes para solucionar sus requerimientos futuros o problemas corrientes, información del uso y del nivel de operación de los productos que están usando, puede ofrecer o directamente prestar servicios mejorados, personalizar los productos de acuerdo al uso del cliente, establecer una relación fuerte y estable con sus clientes que podría llamarse "service centered".

Desde la perspectiva del cliente, la servitización significa menores costos de capital, por lo que un modelo de pago por uso podría exponer a las empresas productoras a nuevos segmentos de clientes. Potencialmente pueden atraer clientes que no estaban acordes con inversiones iniciales altas (costos hundidos), o tal vez clientes que sólo requerirían el uso de un determinado artículo de forma irregular.

Desde un punto de vista financiero este nuevo modelo de negocio otorga varias ventajas, tanto para el cliente como para la empresa:

- Un suministro eficiente para satisfacer las necesidades del cliente con precios que convierten inversiones en flujos recurrentes, adaptados a las necesidades y con mayor grado de compromiso del cliente.
- El riesgo operacional se transfiere del cliente al proveedor que se hace responsable del mantenimiento como parte del servicio, lo que para él será un mantenimiento optimizado al máximo a través de la IoT.
- Estos clientes, a través de una reducción de las inversiones pueden a su vez aumentar sus actividades comerciales mejorando las ventas.
- Tanto en el proveedor como en el cliente, genera un mejor flujo y más predecible de ingresos o egresos mejorando la rentabilidad y el flujo de caja.

Los impactos principales de la *servitización* para la empresa productora son:

- Preparación de la empresa en toda su organización para que la propuesta de valor para los clientes pase de ser la venta de un equipo que preste determinados servicios, al contrato por el servicio en sí a través de un pago recurrente.
- Migración de la relación comercial con el cliente hacia la perspectiva del servicio a largo plazo en lugar de un proceso transaccional único. La relación más estrecha entre las empresas y los clientes aumenta las barreras de entrada para la competencia, lo que dificulta que ella crezca ganando suficiente cuota de mercado.
- El margen bruto de las ventas aumenta aproximadamente al doble a través de la *servitización*.
- Se busca identificar clientes potenciales de esta nueva modalidad de negocio y buscar la transformación de los clientes existentes.
- La cadena de producción debe cambiar para soportar este nuevo modelo incluyendo no solamente la introducción de dispositivos IoT en los productos, sino también la generación de toda la infraestructura que soporte el nuevo modelo de venta de estos productos.

- Los sistemas IT estarán estresados por la necesidad de, no solamente agregar estos nuevos productos, sino también proveer la seguridad y privacidad con relación a los datos sensibles para el cliente y la empresa.
- El área de ventas no solo estará vendiendo un producto, sino también los servicios como instalación, mantenimiento, reparación y servicio de atención al cliente. Los equipos de marketing se verán favorecidos por el acceso a información en tiempo real sobre los comportamientos de los clientes y el rendimiento del producto que guiarán las actividades estratégicas y promocionales.
- Será necesario incorporar la tecnología IoT para rastrear masivamente e informar datos precisos para el mantenimiento, y facturar correctamente a los clientes. Esto incluye sensores, un sistema de acceso a veces multinacional, una plataforma de IoT y un sistema integrado de apoyo al negocio BSS con OSS. La seguridad relacionada con todos estos nuevos datos capturados debe ser una consideración clave por razones regulatorias y de confianza de los clientes.

B. Visión cuantitativa: IoT, servicios avanzados e Industria 4.0.

1. Aspectos metodológicos generales

El desarrollo de la IoT produce un impacto económico y social. El **impacto social** no es por el momento fácilmente cuantificable, a menos que se analice la reducción de tiempos perdidos de espera en diferentes instancias, el aumento del tiempo de ocio, el mejoramiento de la calidad de la salud, la reducción del trabajo con alto esfuerzo físico, etc.

El análisis cuantitativo del **impacto de la IoT en el desarrollo productivo** aún se encuentra en este momento empleando información generalmente parcial de la cantidad de dispositivo IoT en servicio, o del gasto de inversión, y no totalmente clasificada uniformemente por tipo, como ya se vio en la sección "A. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA IOT".

Adicionalmente el mundo se encuentra en general en un período inicial de despliegue de la IoT, considerando, por ejemplo, que el conjunto de los países de la OECD tenía una teledensidad de 1,8 dispositivos por 100 hh hace 10 años, 12,1 hace 5 años y 23,4 en el 2019.

Debido a estas dificultades inicialmente existentes en cuanto a los datos de base, los estudios del impacto buscan obtener fundamentos para su proyección a partir del desarrollo pasado de las TIC y a partir de datos actuales de la IoT.

Es importante resumir acá simplídicamente algunos conceptos empleados en este análisis.

Para estimar el impacto económico expresado en el aumento del producto como consecuencia del despliegue de la IoT se suele emplear, en estas primeras etapas, la Contabilidad del Crecimiento a través del aumento de los Factores de Producción (FP) y de la Productividad (o Productividad Total de los Factores - PTF), complementada en algunos casos con modelos econométricos. En ambos casos el foco se encuentra principalmente en observar el crecimiento de la PTF y en el factor capital, que son los que han demostrado un mayor impacto.

En general, cuando se introduce la IoT en los procesos productivos se observa un aumento de la Productividad junto con un aumento de capital físico y de capital humano por trabajador. La relación de situaciones antes y después de la introducción de la IoT, expresada como la relación entre el producto por trabajador antes y después (y_a , y_d) de un supuesto cambio puntual en la introducción de estas tecnologías, sería la siguiente, empleando en forma simple la fórmula de Cobb-Douglas:

$$\frac{y_d}{y_a} = \left(\frac{A_d}{A_a}\right) * \left(\frac{k_d^\alpha * h_d^{(1-\alpha)}}{k_a^\alpha * h_a^{(1-\alpha)}}\right)$$

Con A la productividad, k el capital físico por trabajador y h el capital humano por trabajador. Usualmente se trabaja en otras formas como con la derivada respecto del tiempo, con una apertura de los factores (por ejemplo, el capital en IoT y no IoT), etc.

A continuación, se hace un breve análisis que muestra que el aumento del producto por trabajador, cuando se introduce la IoT, se explica por el triple efecto del aumento de la productividad (principalmente por el aumento de la tecnología manteniendo al principio la eficiencia constante), el capital físico y el capital humano.

El aumento de la productividad surge como consecuencia de la modificación de los procesos productivos, los que tenderán a un mejor aprovechamiento de los FP. A está explicada por dos grandes factores correspondientes a los cambios tecnológicos y a los cambios en la eficiencia del uso de los FP.

El aumento de capital físico por trabajador k también es un resultado natural debido a que la introducción de estas tecnologías va acompañada de un aumento del capital y de una reducción de trabajadores atribuibles, o relacionados, a este capital. Se produce la llamada profundización del capital.

El aumento del capital humano, de extrema importancia para el futuro en todo el mundo y principalmente en los países menos desarrollados, es consecuencia de que los trabajadores deben ser más calificados en cuanto a sus conocimientos en el nuevo ambiente de la IoT. Éste es un proceso más lento debido a su vinculación estrecha a la educación de los jóvenes y la educación permanente de los trabajadores, asunto que se analiza más adelante en la sección de Políticas.

Adicionalmente al desarrollo productivo, la IoT está transformando la forma en que trabajamos, nos comunicamos y vivimos en general. El alcance e impacto de la IoT en la transformación social no está precisamente cuantificado, y las estimaciones tienen varias ópticas y grados de precisión y metodologías.

Otra óptica, en estos primeros tiempos de incertidumbres, es expuesta por Anton Björkroth⁵⁹, y se expone a continuación.

Para determinar el impacto directo, método también llamado dinámico, en la productividad y el producto, existen tres desafíos principales para su estimación: la metodología a usar, el estado actual del despliegue de la IoT, y la evolución tecnológica, comercial y regulatoria prevista. Una orientación macro es la de asimilar, o extraer conclusiones y parámetros, de los estudios realizados sobre la evolución precedente de las tecnologías emergentes y principalmente las TIC.

Existe también la metodología indirecta de cuantificar el efecto.

En principio, este documento indica estas dos metodologías principales:

- i) En el método directo o dinámico, se mide el crecimiento económico producido por todas las actividades que emplean la IoT, a través de modelos econométricos o de la contabilidad del crecimiento. Emplea las contribuciones de la IoT a las estadísticas económicas usuales.
- ii) Otro procedimiento, indirecto, consiste en medir todos los impactos financieros y no financieros considerando las ganancias del excedente económico y el bienestar.

El autor, luego de analizar estudios realizados, concluye que para el año 2025 se espera que el impacto dinámico en la economía global sería del 1 al 2%, mientras que el indirecto sería del 4 al 11%. Esto soportaría la tesis de que la mayoría del impacto del despliegue y uso de la IoT no se detectaría a partir del método directo.

Como consecuencia, se considera que el método directo debería ser principalmente empleado para comparaciones de impacto, más que para determinar valores absolutos, los que debería hacerse

⁵⁹ Björkroth, Anton *Measuring the economic impact of IoT*. 2021 <https://www.doria.fi/handle/10024/180962>.

por el método indirecto. Como éste es muy consumidor de tiempo y recursos se recomienda su uso para medir el impacto de aplicaciones específicas de IoT, y así evaluar la relación costo beneficio.

2. Estimaciones del impacto económico

Imperial College (2019)⁵¹

Se sostiene que la IoT impactará en los consumidores y las industrias⁵². Para el primer caso el efecto podría no ser observado si los ahorros de tiempo, la calidad de los bienes o su provisión libre no se reflejan totalmente en los precios medibles.

El propósito del trabajo es tratar de entender cómo la IoT podría afectar el desarrollo económico y la magnitud de dicho impacto.

Se dispone de dos enfoques básicos para este análisis del crecimiento: el marco neoclásico descrito por Solow y la teoría del crecimiento endógeno. En el modelo neoclásico el crecimiento de la PTF es producido por el cambio tecnológico que es determinado exógenamente. Los propulsores de la teoría endógena del crecimiento indican que los roles de la ciencia, la innovación, el capital humano, la acumulación de conocimiento y los spillovers (tecnológicos y de conocimiento) son la causa del cambio tecnológico y del crecimiento de la PTF. Indican además que estos avances no son gratuitos y son determinados endógenamente. Ambos marcos de análisis del crecimiento distinguen claramente los efectos de la acumulación de capital y del crecimiento de la PTF, en la teoría y en las mediciones. La teoría del crecimiento endógeno puede ser considerada como un marco explicativo del factor residual no explicado de la PTF del modelo clásico. El modelo empleado en este trabajo es consistente con ambas teorías ya que hace foco principalmente en el efecto del crecimiento del capital invertido en IoT y en el crecimiento de la PTF.

El estudio hace foco en cómo la IoT afecta, en el contexto de la Contabilidad del Crecimiento, a la producción medida a través de dos efectos: por la profundización del capital por la inversión en los sistemas de la IoT, y por el cambio en la PTF que puede deberse al crecimiento de la eficiencia y la optimización de los procesos productivos, innovación complementaria y la acumulación de capital intangible complementario (en algunos casos, no medible en el producto) incluyendo capital organizacional y spillovers o efectos de red de la acumulación y despliegue de capital de comunicaciones.

El enfoque implica considerar la IoT en un contexto histórico y compararla con la difusión de las Tecnologías de Propósito General durante las primeras etapas de los cambios tecnológicos. Por ello en el proceso de análisis la compara con la difusión de los motores eléctricos durante la electrificación, y con la ola de la revolución de las TIC en los años 90, ya que la IoT puede considerarse una complementación innovativa basada en las mejoras tecnológicas de las TIC.

Considerando que la IoT es parte de la tendencia general de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), trabaja con los datos actuales de la IoT y estimaciones de más largo plazo de los parámetros de la contabilidad del crecimiento tomando como referencia su evolución observada para las TIC.

En primer lugar, cruza datos de varios países para analizar si existe evidencia temprana de correlación entre el despliegue de la IoT y el crecimiento de la PTF.

De acuerdo con las primeras estimaciones econométricas, trabajando sobre datos de 82 países, se observa una correlación económica y estadística significativa entre la teledensidad de las conexiones IoT

⁵¹ Harald Edquist, Peter Goodridge and Jonathan Haskel (2019). *The Internet of Things and economic growth in a panel of countries*. Economics of Innovation and New Technology, DOI: 10.1080/10438599.2019.1695941. Ericsson Research, Estocolmo, Suecia; Imperial College Business School, Imperial College, Londres, Reino Unido.

⁵² Se entiende que el impacto es más general en el sector productivo alcanzando también los sectores primario y terciario (explotación agropecuaria, actividades extractivas, servicios logísticos y de salud, entre otros).

y el crecimiento de la PTF, sugiriendo efectos grandes en las etapas iniciales de la difusión. Los resultados sugieren que un crecimiento de 10 puntos porcentuales en las conexiones de IoT por habitante se asocia a 0,23 puntos porcentuales de crecimiento en la PTF. Estos números surgen de que los autores observaron un crecimiento de la teledensidad del 30% pa en la muestra usada, implicando una contribución del 0,69% pa al crecimiento de la PTF.

En segundo lugar, para las estimaciones a más largo plazo del efecto de la IoT se emplea el enfoque de la Contabilidad del Crecimiento, combinando las estimaciones iniciales de la inversión corriente en IoT con los parámetros de este modelo, y el perfil de inversión en los países de la OECD en ocasión de la acumulación de capital durante la primera ola de despliegue de las TIC. En el estudio se separan los efectos sobre la profundización del capital y los de la PTF. Se observa que el efecto de la profundización del capital de la IoT es relativamente bajo al inicio.

Estas estimaciones de la contribución del despliegue de IoT al desarrollo económico, empleando la Contabilidad del Crecimiento, resultan en un crecimiento de la PTF del 0,8% pa, un valor muy próximo al de 0,69% obtenido por el método econométrico.

Este valor obtenido es igualmente mucho menor que el obtenido por Manyika⁵³, el que sugiere una contribución global promedio anual al crecimiento de 0,99% pa en el período 2018-2030, o sea U\$S 84,9 billones pa a nivel global y con precios de 2018 (\$85.690 bn). Esta estimación parte de la base de que la inversión en IoT en 2018 representaba el 27% de la inversión total en TICs.

En conclusión, se consideran las siguientes contribuciones (consideradas máximas) de la IoT al crecimiento de la PTF para un 30% de crecimiento de la teledensidad:

- 0,69% por el método econométrico.
- 0,80% empleando la contabilidad del crecimiento.

Se aclara en este estudio, no obstante, que el trabajo se basa en las estimaciones de los valores de inversión iniciales en IoT sobre las cuales no existen al momento del estudio, datos oficiales disponibles.

Se recuerda aquí lo indicado en la sección 1 en cuanto a las dificultades iniciales debido a la no uniformidad de definiciones para los registros de cantidades desplegadas, y la falta de información completa sobre las diferentes tecnologías de acceso propietarias y sus plataformas relacionadas.

Todos estos factores, más el hecho de que el despliegue de la IoT se encuentra en las etapas iniciales, colaboran para que aún no existan estudios académicos profundos.

Heliyon (2020)⁵⁴

Este otro trabajo seleccionado revisa la evidencia de la aceptación de la IoT y el impacto económico durante los primeros años de su despliegue para Europa. Emplea el marco de la Contabilidad del Crecimiento para determinar el impacto de la IoT en la productividad.

Se busca encontrar, por un lado, la relación entre los gastos en IoT y en la totalidad de las Tecnologías de la Información, y por otro, el impacto de la IoT en la productividad. Al igual que en el trabajo anterior, se emplea la Contabilidad del Crecimiento como marco de cálculo del impacto en el crecimiento económico. Investigaciones recientes han tratado de capturar la contribución del capital

⁵³ Manyika, James, Michael Chui, Peter Bisson, Jonathan Woetzel, Jacques Bughin, and Dan Aharon. 2015. *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*. San Francisco: McKinsey Global Institute.

⁵⁴ Héctor Espinoza, Gerhard Kling, Frank McGroarty, Maru O'Mahony, Xenia Ziouvelou (2020). *Estimating the impact of the Internet of Things on productivity in Europe*.

aplicado a las TIC al PBI o al crecimiento de productividad del trabajo. Como las inversiones en las TIC incluyen los gastos en IoT, permite estimar la contribución de la IoT a las TIC.

Se destaca, al igual que en el trabajo anterior, que los datos sobre los despliegues de IoT son escasos en Europa y EE. UU., en que la mayoría de los estudios están basados en encuestas y predicciones dirigidas por actores no académicos. Inclusive, frecuentemente, la metodología empleada se explicita parcialmente, o directamente no se publica, por lo que no es posible una validación externa o la replicación de esos estudios. Se emplea la Contabilidad del Crecimiento, tratando de contornear estas dificultades, para estimar el impacto de la IoT en el PBI y la productividad.

En este caso emplea la tradicional función de producción de Cobb – Douglas en su expresión incremental para el valor agregado y retornos constantes a escala.

$$y_t = \gamma_l l_t + \gamma_{ict} k_{tic}_t + \gamma_{nict} k_{ntic}_t + PTF_t$$

Donde y representa el crecimiento del valor agregado, k_{tic} el crecimiento del capital TIC, k_{ntic} el crecimiento del capital no TIC, l el crecimiento del trabajo, los valores de γ (que suman 1) son las participaciones de cada factor en el valor agregado y PTF es la Productividad Total de Factores.

Se describe un procedimiento para la estimación de la contribución sobre el valor agregado del capital invertido en TIC, pero se indica que la contribución de la IoT es dificultosa debido a que los CAPEX de las tres partes que intervienen en la IoT (hardware, software y comunicaciones) están tabuladas en forma independiente en las estadísticas oficiales. Por ello basan sus estimaciones en la participación de la IoT en el CAPEX de TIC.

Siguiendo el procedimiento expresado en la referencia, y trabajando en el período 2008–2014, en este trabajo de 2020 se llega a las siguientes conclusiones que al momento actual no son suficientemente precisas: se encuentra un impacto positivo de la IoT en la productividad, el que sin embargo se considera que es pequeño teniendo en cuenta que el despliegue de la IoT se encuentra en sus primeras etapas.

GSMA Intelligence⁵⁵

Este documento de 2019 presenta varios datos referentes al impacto de la IoT en el desarrollo, basados en un modelo que es resumidamente descrito en cuanto a sus principios. No se dispone de detalles de los procedimientos empleados. Se incluye en este estudio tomando en consideración la importancia de la institución con relación a la IoT que emplea accesos del 3GPP, y de la que se dispone de información estadística.

Principios del modelado:

- Las empresas de muchos sectores de la economía son capaces de ahorrar y ejecutar sus operaciones de manera más eficiente como resultado del empleo de tecnología IoT.
- El beneficio para cada uno de estos sectores depende del número de empresas que adoptan la IoT.
- El ahorro permite a cada sector producir más utilizando el mismo nivel de insumos.
- El impacto de la IoT en la productividad empresarial variará en función del tamaño del sector dentro de la economía.

Las siguientes son las fuentes principales de datos:

- **Ahorro de los costos operativos.** La encuesta de GSMA Intelligence sobre la IoT Empresarial se realizó en el cuarto trimestre de 2018, cubriendo más de 2.000 empresas de

⁵⁵ The contribution of IoT to economic growth. Abril de 2019. GSMA Intelligence. www.gsmaintelligence.com.

14 países. Preguntaron a estas empresas qué reducciones en los costos de explotación en el ejercicio anterior asociaron con la adopción de IoT.

- **Tasa de adopción de la IoT empresarial.** La mayor parte de la investigación realizada sobre la adopción de la IoT por las empresas se basa en la adopción real para los negocios, pero algunas se centran más en la población o la población urbana. Han asumido en todos los casos que las empresas cubren uniformemente con relación a la población.

Este trabajo se orienta a valorar la productividad de las empresas observando el producto adicional que puede ser obtenido por las empresas como resultado del ahorro de costos cuando emplean los sistemas de IoT. No incluye la contribución directa al ecosistema, el impacto indirecto más amplio en la economía, ni los mejoramientos de bienestar de los consumidores.

Dentro de este documento de la GSMA se hace referencia a un trabajo sobre la evolución de largo plazo de la PTF en los países avanzados⁵⁶, de autores que se ha observado que trabajan en este tema con publicaciones sobre indicadores económicos de largo plazo. Un extracto de su más reciente trabajo muestra lo siguiente:

"Los cambios en el PIB durante el siglo XX han sido impulsados principalmente por la productividad total de los factores (PTF). Este artículo sintetiza los resultados de nuestra investigación basada en la larga base de datos de productividad del período (1890-2015) que hemos construido. En particular, nuestro objetivo es perfeccionar nuestra medida de PTF mediante la inclusión de la contribución de la mejora de la calidad de los insumos de los factores y la difusión de la tecnología al crecimiento de PTF en cuatro áreas o países desarrollados: Estados Unidos, la zona del Euro, el Reino Unido y el Japón. Se consideran dos tipos de calidad de factor: el nivel medio de educación y la edad promedio de los equipos. Investigan dos choques tecnológicos correspondientes a dos tecnologías de uso general: tecnologías de la electricidad y de la información y la comunicación (TIC). Sin embargo, incluso después de estos ajustes, los patrones a largo plazo de crecimiento de la PTF no cambian, con dos olas importantes apareciendo en el siglo pasado y gran parte del crecimiento de PTF sigue sin contabilizar por factores de la producción ajustados a la calidad y la difusión tecnológica. Nuestras estimaciones muestran que el impacto en la productividad de la reciente ola de TIC sigue siendo mucho menor que el de la onda eléctrica, y que se confirman las desaceleraciones más recientes del crecimiento de los PTF después de 1973".

Este estudio muestra la desaceleración del crecimiento de la PTF a pesar de incluir las mejoras tecnológicas y su obsolescencia, y las de la educación, en la cuantificación de la PTF.

Igualmente se espera que con la introducción de la IoT en los procesos productivos se mejorará la productividad y el crecimiento económico.

En cuanto al crecimiento de la cantidad de conexiones IoT la GSMA estima un 21% pa entre 2017 y 2025, valor parecido al estimado en el trabajo del Imperial College donde se había observado un crecimiento del 30% pa en la muestra usada, lo que le daba un crecimiento de 0,69% pa de la PTF.

Las ganancias de productividad en los negocios son valuadas en este documento con base en la experiencia de empresas que han adoptado soluciones IoT y han desplegado infraestructura. Analiza por tanto solamente una parte del impacto de la IoT en la economía global.

⁵⁶ Bergeaud, A., Cette, G. y Lecat, R. *Total Factor Productivity in Advanced Countries: A Longterm Perspective*. International Productivity Monitor. 2017.

Por la aplicación de este modelo el impacto de la IoT en la productividad del negocio son los siguientes:

- 0,2 % de PBI global en 2018, o sea \$173 bn.
- 0,34% del PBI global en 2025, o sea 371 bn.

Agregado a este beneficio económico por aplicación de la IoT se estima que las empresas proveedoras de la cadena de valor de la IoT generarán más de 1.000 bn en 2025.

Adicionalmente existirán beneficios de los consumidores.

El trabajo de la GSMA estima que los gobiernos tendrán un impacto fiscal, exclusivamente por el crecimiento de la productividad, que va de \$ 22 bn en 2018 a \$ 47 bn en 2025. A esto se agrega el impacto del spillover en toda la economía.

Se observa además que las empresas en los países en desarrollo obtienen mayores beneficios del empleo de la IoT que en los países desarrollados, debido a su menor eficiencia de inicio que se ve más fuertemente impactada por el uso de la IoT.

3. Conclusiones generales sobre el impacto

Se resumen los resultados de los diferentes trabajos, y se observa que existen diferencias en los resultados de los estudios conglobados del crecimiento de la teledensidad o de la inversión en IoT y su impacto en la productividad:

- Imperial College.
 - 0,69% pa por el método econométrico sobre datos de 32 países y para el 30% pa de crecimiento de la teledensidad, observado en la muestra.
 - 0,80% pa empleando la contabilidad del crecimiento para estimaciones a más largo plazo.
- Manyika et al.: 0,99% pa en una estimación para el período 2018 – 2030 sobre la base de la contribución del 27% de la inversión en IoT sobre el total de TIC en 2018.
- GSMA. 0,2% pa en 2018 hasta 0,34% pa en 2025.

4. Conclusiones para los países de COMTELCA

Se pueden efectuar dos tipos de consideraciones, según los países, de acuerdo con los datos disponibles de despliegues de IoT analizados en la sección anterior.

- i) Para el caso de México, conocida la estimación del crecimiento del 17% p.a. en la sección V.F Conclusiones, la referencia más aplicable sería la econométrica del Imperial College, en que, trabajando sobre datos de 82 países, observa para el efecto directo una correlación económica y estadística significativa entre la teledensidad de las conexiones IoT y el crecimiento de la PTF. Considerando un impacto del 0,23% por cada 10% de crecimiento de la teledensidad, se tiene un impacto actual del 0,39% p.a. sobre la Productividad Total de los Factores (PTF). Si se aceptan las conclusiones de Anton Björkroth, a este efecto directo se debería agregar el efecto indirecto que podría ser del orden de 4 veces más.
- ii) Para los otros países de COMTELCA no es posible efectuar estimaciones hasta tanto no se disponga de informaciones sobre la evolución de la teledensidad o del gasto en IoT.

VI. Propuestas para las políticas y el tratamiento legal y regulatorio

Estos cambios tecnológicos, de relacionamiento social y de organización de la producción, basados en la IoT o como consecuencia de ella, traen avances socio económicos para los ciudadanos mientras se adopten políticas y reglamentaciones a tiempo.

Los cambios alcanzan de una forma u otra todos los aspectos de la vida diaria de los ciudadanos: la salud, la vida familiar, el desplazamiento, la educación, la seguridad, el entretenimiento, la forma de producir, entre muchos otros.

Este impacto tan poderoso sobre la sociedad requiere entonces de políticas públicas que consideren los diferentes efectos potenciales, por ejemplo, pérdidas de puestos de trabajo por falta de capital humano.

Encima de toda la infraestructura que es activada por la IoT, es necesario agregar aspectos esenciales como la privacidad equilibrada, la ciberseguridad, y otros. Estos aspectos no solamente son importantes para evitar fugas de información no deseada, sino también para respaldar el éxito de toda esta nueva tecnología frente a los ciudadanos.

El camino por emprender en este sentido, siendo una tecnología extendida en múltiples ramas y muy innovadora, requiere un seguimiento de sus éxitos y fracasos, del avance del conocimiento y las mejores prácticas a nivel internacional y la coordinación permanente entre las partes interesadas.

Es necesario disponer de una estructura de gobernanza a nivel del país, que favorezca la interacción entre las partes interesadas nacionales y globales, y la inversión en nuevas habilidades que serán necesarias en nuevos ambientes de trabajo que asocian el capital físico y digital con el capital humano.

Se desarrollan a continuación los antecedentes relevantes y las propuestas de políticas y regulaciones (o desregulaciones) necesarias que responden a buenas prácticas en el mundo.

Se puede observar, en las secciones que siguen, que, debido a la transversalidad del impacto de la IoT en los diferentes sectores sociales y económicos, la creación de la estructura de gobernanza debería tener preferentemente un origen gubernamental, independientemente de que requiera la participación de todas las partes interesadas. Esa institución sería la responsable de analizar la situación del país e identificar los problemas y soluciones para propiciar el avance, como paso previo a la formulación de las políticas públicas. En principio debería actuar como articuladora y efectuar las recomendaciones de políticas que correspondan para la generación de la decisión, sea a nivel del Poder Ejecutivo o del Legislativo, o de las Autoridades Reguladoras cuando ello sea factible en los marcos vigentes. También sería responsable, en su ámbito, de darle seguimiento a los resultados de las medidas tomadas, y de efectuar recomendaciones a los sectores.

A. Antecedentes

1. Unión Internacional de Telecomunicaciones⁵⁷

Se presentan los muy importantes y más recientes resultados de la Comisión de Estudio 20 sobre un “Marco para un Plan Maestro para el Ecosistema de la Internet de las Cosas”, de mayo de 2021. Es una actualización para acuerdo, del documento de la reunión del segundo trimestre de 2020.

La Comisión de Estudio 20⁵⁸ trabaja en los requisitos de normalización de las tecnologías de la Internet de las Cosas (IoT), centrada inicialmente en las aplicaciones de IoT en las ciudades y comunidades inteligentes (SC&C). La CE20 elabora normas internacionales que facilitan el desarrollo coordinado de tecnologías IoT, incluidas las comunicaciones de máquina a máquina y redes de sensores ubicuos. Una parte fundamental de este estudio es la normalización de arquitecturas de extremo a extremo para IoT, y mecanismos para la interoperabilidad de aplicaciones IoT y de conjuntos de datos empleados por diversos sectores industriales orientados verticalmente. Un aspecto importante de la labor de la CE20 es la elaboración de normas que aprovechen las tecnologías IoT para responder a los desafíos del desarrollo urbano.

En este trabajo reciente presenta un resumen de alto valor donde se plasman los principios básicos para la elaboración de un Plan Maestro de la Internet de las Cosas en un país, así como procedimientos macro para la elaboración del Plan. A través de su análisis se observa que los diferentes países están alineados con estas guías y con diferente alcance, de acuerdo con su definición estratégica.

“Un ecosistema saludable de Internet de las cosas (IoT) puede ser una herramienta eficaz para aumentar la competitividad de la industria y el bienestar de los ciudadanos. Hay muchas áreas donde se puede implementar la IoT, como la agricultura, la atención médica, los bienes de consumo, la industria y la educación, y puede que no sea práctico o posible actuar en todas las verticales al mismo tiempo. Un Plan Maestro de IoT está destinado a enfocar los recursos en verticales o áreas prioritarias con el objetivo de producir resultados más efectivos teniendo en cuenta el entorno particular del país (por ejemplo, desafíos y oportunidades) y las prioridades⁵⁹.

⁵⁷ “Output text of draft Supplement ITU-T Y.Sup-IoT-Eco-Plan “Framework for Internet of Things ecosystem Master Plan” - for agreement INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. TELECOMMUNICATION STANDARDIZATION SECTOR. SG20-TD2207-R2, Virtual, 17-27 May 2021.

⁵⁸ <https://www.itu.int/es/ITU-T/about/groups/Pages/sg20.aspx>.

⁵⁹ Este párrafo del documento de la UIT contiene lo que podría ser el objetivo principal en un Plan Nacional de la IoT.

Al definir este Plan Maestro, es importante considerar la evaluación comparativa internacional y contar con una metodología holística que considere las prioridades del país, pero que también tenga en cuenta la demanda potencial, la oferta y la capacidad de desarrollo al seleccionar los dominios verticales prioritarios. También es crucial involucrar a las partes interesadas relevantes, incluidas las de varias verticales, industrias, gobiernos, instituciones académicas y la sociedad civil durante todo el proceso, desde el desarrollo del plan hasta la ejecución, para apoyar la implementación efectiva.

Por lo tanto, este suplemento describe un marco para apoyar a los Estados Miembros a definir su Plan Maestro del ecosistema de la IoT, basado en la evaluación del dominio vertical y la identificación de aspectos técnicos para apoyar a los verticales seleccionados. También presenta algunas acciones para admitir la implementación del plan maestro. "

En cuanto al posicionamiento estratégico de cada país, como guía macro para el Plan Maestro, se establece que:

"El posicionamiento estratégico permitirá al país definir su estrategia de acción, definir sus factores críticos de éxito y priorizarlos. En términos de ecosistema IoT, la definición del posicionamiento estratégico representa un paso importante hacia la dirección de los esfuerzos del país y la movilización de los principales actores para alcanzar los objetivos relevantes. Los objetivos y prioridades pueden estar relacionados con diferentes aspectos del ecosistema de la IoT, por ejemplo, la adopción de IoT, así como la fabricación o innovación de la IoT.

Además, el posicionamiento estratégico debe estar contenido en la expectativa de un país, lo que puede lograrse analizando dos aspectos: cuáles son los principales objetivos del país en relación con la IoT y el número de verticales prioritarias en las que el país pretende centrarse.

El posicionamiento de los países en relación con los dos aspectos permite agruparlos en cuatro grupos:

- i) Grupo 1: países que buscan el liderazgo global en la IoT, tanto en el desarrollo como en la implementación de la IoT.
- ii) Grupo 2: países que buscan liderazgo en verticales específicas. Esto es adoptado por los países que han optado por desarrollar de manera distintiva un número limitado de verticales.
- iii) Grupo 3: países que buscan el uso de la IoT para aumentar la competitividad y generar bienestar para la población. Estos países están enfocados en el desarrollo de la IoT como palanca para aumentar la competitividad de la industria local, generar empleos y mejorar la calidad de vida de la población.
- iv) Grupo 4: países que tienen como objetivo mejorar la calidad de vida a través del apoyo de la IoT. Se centran en el desarrollo de la IoT en las ciudades inteligentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población.

Además, definir el papel del gobierno y su grado de participación en la formación del ecosistema de IoT, y construir una gobernanza sólida que garantice una amplia participación de las partes interesadas desde el principio, también son pasos importantes en el proceso".

2. CITEL⁶⁰

La CITEL, con referencia a los estudios previos para la CMR 19 considera: "En el UIT-R, las aplicaciones de esta índole ya aprovechan el espectro atribuido al servicio móvil, incluidas las gamas de frecuencias identificadas para las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT). La industria y otros grupos que desarrollan tecnologías MTC manifestaron claramente, incluso en el taller de la UIT sobre gestión del

⁶⁰ OEA/Ser.L/XVII.4.2.30 CCP.II-RADIO-30/doc. 4359-1-1/17 25 enero 2017. PROPUESTAS INTERAMERICANAS PARA LA CMR-19.

espectro para el despliegue de la Internet de las cosas (que tuvo lugar en noviembre de 2016 en Ginebra, en Suiza), que la identificación de bandas de frecuencias específicas para aplicaciones MTC puede retrasar o restringir innecesariamente la innovación, y que puede dar lugar a la utilización ineficaz del espectro.

Las Administraciones de la CITELE han analizado la utilización actual y futura del espectro para las MTC de banda estrecha y banda ancha, expresadas en la Resolución 958 (CMR-15), también conocida como de máquina a máquina (M2M) o el Internet de los Objetos (IoT), habiendo concluido que no es necesario identificar un espectro específico para estas aplicaciones.”

En su propuesta, indica que “no es necesario introducir ningún cambio en el Reglamento de Radiocomunicaciones ni tomar ninguna medida reglamentaria. La no modificación también se aplica al Volumen 3 del RR, aparte de la propuesta de suprimir porciones de la Resolución 958 (CMR-15)”.

3. Australia

La IoT Alliance Australia (IOTAA) tiene como objetivo “Aprovechar las oportunidades de la IoT para Australia”, es hoy la institución superior de Australia para el desarrollo de la IoT con miembros de una amplia sección transversal de proveedores de servicios de IoT, gobiernos, agencias de investigación y grupos de consumidores, y fue creada en mayo de 2015 como parte de la Communications Alliance⁶¹. Se convierte en una entidad sin fines de lucro en Julio de 2016 y es apoyada por UTS (University of Technology Sydney), quien es hoy integrante del Directorio constituido por seis personas.

El Consejo Ejecutivo (CE) es el comité asesor del Directorio de la IOTAA integrado por las partes interesadas Senior. Comprende una combinación extensa de corporaciones, departamentos del gobierno y reguladores, jugadores de la industria, la investigación y gremiales empresariales. Su misión es mejorar la Sociedad y las ventajas competitivas de Australia a través de la aceleración de la adopción de la IoT.

Su principal documento vigente hasta hoy, “Enabling the Internet of Things for Australia”⁶² ha sido publicado a fines de 2015. Hace 12 recomendaciones centrales de cambios de políticas y regulaciones combinadas con iniciativas industriales, lo que originalmente dio lugar a 7 Hojas de Ruta.

A setiembre de 2021 existen 12 Hojas de Ruta⁶³ debido al intenso interés a través de un amplio espectro de sectores, con foco en sectores verticales de la industria y en habilitadores clave de la IoT. Son un ejemplo para destacar de las acciones a desarrollar por los países para la orientación y el aprovechamiento del desarrollo de la IoT. Las siguientes son las Hojas de Ruta:

- Hojas de Ruta sectoriales.
 - Ciudades Inteligentes.
 - Comida y agronegocios.
 - Agua.
 - Energía.
 - Transporte.
 - Industria manufacturera.
 - Salud.
- Hojas de Ruta de los habilitadores.
 - Colaboración. Crear una comunidad IoT australiana, coherente, colaborativa y con conciencia global, integrada por las industrias, el gobierno y otras partes interesadas

⁶¹ <http://www.commsalliance.com.au/Documents/Publications-by-Topic/IoT>.

⁶² https://www.commsalliance.com.au/__data/assets/pdf_file/0004/58702/Enabling-the-Internet-of-Things-for-Australia.pdf.

⁶³ <https://iot.org.au/workstreams/>.

para impulsar la innovación y recomendar las políticas y regulaciones adecuadas. Términos de referencia: 1. Definir la colaboración IoT, 2. Crear una estrategia macro de comunicación para establecer los mensajes y la defensa de la IoT, 3. Contribución con los gobiernos, la industria y otras artes interesadas para que se comprenda la importancia de la IoT y la necesidad de la coordinación, y 4. Desarrollar un método de medición de la colaboración.

- Uso de datos. Acceso y privacidad. Desarrollar los datos abiertos de IoT, y lineamientos y principios para la compartición, con posible foco sectorial. Adicionalmente desarrollar lineamientos de privacidad en el uso de los datos. Términos de referencia: 1. Dar prioridad a las áreas de alto valor para la IoT – desarrollar criterios para identificar datos de alto valor, cuya compartición crearía beneficios sociales significativos, 2. Desarrollo a lo ancho de toda la economía de Australia, de los principios de compartición de datos específicos de sectores/productos para facilitar la IoT, 3. Promover los principios de intercambio de datos y abordar las expectativas de los consumidores, 4. Incentivar la calidad de los datos para aplicaciones de IoT, y 5. Desidentificación de la información personal.
- Ciberseguridad y resiliencia de las redes. Desarrollar directrices de seguridad para los elementos de servicio de la IoT, incluida la protección de datos. Términos de referencia: 1. Proporcionar una interpretación de las propuestas de regulación de seguridad actuales y futuras para la IoT, garantizando el equilibrio adecuado entre la creación de confianza y la facilitación de la innovación, 2. Desarrollo y mantenimiento de directrices de seguridad para IoT, 3. Mantenimiento de la guía de referencia de los sectores de IoT en concordancia con los requisitos regulatorios de los mercados globales, y 4. Desarrollar y mantener atributos de resiliencia y pautas por clase de servicio de las redes y servicios IoT.
- Plataformas e interoperabilidad. Proporcionar claridad y conocimientos a la industria sobre las capacidades principales de una plataforma de IoT, con el fin de ayudar con la selección de la mejor plataforma; garantizar la adopción de prácticas y normas adecuadas para apoyar la interoperabilidad. Términos de referencia: 1. Crear un marco para comprender la funcionalidad de las diferentes plataformas de IoT, y 2. Comprender el panorama de los estándares en toda la pila de tecnología para la interoperabilidad desde las capas de comunicación hasta las capas de datos, operativas y empresariales.
- Start Ups de IoT. Desarrollar una política y marcos para el ecosistema IoT como soporte de un programa nacional IoT, soportando a la comunidad start up que está relacionada al Industry Growth Centers. Términos de referencia: 1. Identificar e involucrar a las partes interesadas clave del gobierno para ayudar con las nuevas empresas de IoT, 2. Establecer vínculos con el sector de la captación de capital específico para las nuevas empresas de IoT, 3. Identificar laboratorios y centros clave de IoT y construir ecosistemas y áreas de experiencia de IoT, y 4. Proporcionar apoyo educativo, con herramientas y ayuda práctica para las nuevas empresas de IoT, identificando sus barreras clave para el éxito.

Las recomendaciones principales del documento original, si bien han sido incorporadas en las Hojas de Ruta, tienen un interés general para este trabajo:

- Desarrollar y soportar una industria australiana de la IoT que sea coherente y colaborativa, habilitada por regulaciones y políticas apropiadas para conducir la productividad y la innovación, alineadas con los objetivos económicos nacionales.
- Elegir el liderazgo de unos pocos sectores clave, donde los esfuerzos adicionales son hechos a nivel de gobierno y de la industria, y la colaboración es propiciada.
- Desarrollar un modelo y principios para la compartición de datos de la IoT y la apertura de datos públicos.
- Crear confidencialidad y confianza en el uso de la IoT, haciendo foco en las preocupaciones de la privacidad, con lineamientos y política claros, para el acceso a los datos privados, su consentimiento y uso.
- Desarrollar los lineamientos sobre seguridad mínima en cuanto a las redes y servicios empleados en la cadena de provisión de IoT. Debe incluir los dispositivos, la red y el tratamiento de los datos recibidos. Debe incluir tanto la seguridad frente a ataques como el poder de recuperación de los servicios.
- Fomentar una próspera empresa emergente de la comunidad de IoT a través del alineamiento, donde sea sensible, con las actividades del Industry Growth Centres⁶⁴, las incubadoras de start up, sectores específicos de la industria y colaboración para construir un ecosistema de la innovación.
- Revisar la adecuación del marco actual del espectro y su licenciamiento, en cuanto a soportar las nuevas tecnologías IoT y su escala, con foco particular en el espectro para servicios de baja tasa de transmisión de bits.
- Agregar peso al vector que conduzca a mejores programas de aprendizaje de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), y desarrolle programas de entrenamiento en IoT, con énfasis especial en la ingeniería informática y de gestión de datos.
- Revisar la idoneidad de la supervisión y participación australianas en los principales organismos de normalización de la IoT, con miras a atender la capacidad de proporcionar a la industria una orientación informada sobre las implicaciones de los obstáculos al comercio, la protección de datos y el impacto regulatorio local.
- Considerar la reducción y simplificación de la gobernanza en el desarrollo de ciudades inteligentes en Australia.
- Se deberían encargar investigaciones económicamente relevantes y basadas en la evidencia para confirmar las observaciones preliminares, las recomendaciones, los facilitadores, los inhibidores y los focos sectoriales, y qué partes están mejor posicionadas para conducir las iniciativas y asumir roles de liderazgo.

En este proceso, el 16 de junio de 2021 tuvo lugar su principal evento⁶⁵ "Estado de la Nación en IoT". Fue presencial y estableció el escenario de IoT en Australia. Incluyó los resultados del benchmarking de la adopción de IoT en Australia y el análisis del impacto económico, incluidos los conocimientos clave de la transformación digital habilitada por la IoT, y acelerada por la pandemia global. Se analizó la trayectoria de la nación y el papel de IoT.

⁶⁴ <https://www.industry.gov.au/policies-and-initiatives/industry-growth-centres>.

⁶⁵ <https://iot.org.au/>, <https://www.iothub.com.au/iot-insights/state-of-the-nation>.

4. Estados Unidos (EEUU)

El Departamento de Comercio interviene de distintas maneras en las políticas para el desarrollo e implementación de la Internet de las Cosas, independientemente de las múltiples acciones individuales de empresas y corporaciones actuando a nivel nacional y global.

En los últimos años la principal preocupación en los EE. UU. ha sido la de la seguridad en los sistemas de la IoT, que además tienen una gran presencia en las instituciones gubernamentales. En diciembre de 2020 fue aprobada el Acta de Mejoramiento de la Ciberseguridad de la IoT⁶⁶. Esta Acta alcanza no solamente a las agencias gubernamentales, sino también a quienes producen dispositivos de IoT para uso federal y a los contratistas gubernamentales que usen dispositivos de IoT. El Acta establece que el NIST (National Institute of Standards and Technology) cree para marzo de este año 2021 los estándares y pautas para gestionar los riesgos de ciberseguridad de los dispositivos federales de IoT. El NIST también fue dirigido a trabajar con el Departamento de Seguridad Nacional (DHS), con expertos de la industria y con investigadores de seguridad para determinar la mejor manera de informar de las vulnerabilidades de seguridad presentes en los dispositivos IoT y cómo solucionar estos problemas.

El NIST es un laboratorio de ciencias físicas y una agencia no reguladora del Departamento de Comercio de los Estados Unidos.

En otra línea, la Fuerza de Tareas de Políticas de Internet del Departamento de Comercio, a través de la NTIA (National Telecommunications and Information Administration) sigue conduciendo la revisión de los beneficios, desafíos y roles potenciales para el gobierno en el fomento del avance del Internet de las Cosas⁶⁷.

Salvo el documento de marzo de 2017 que se trata a continuación, los documentos posteriores sobre la Internet de las Cosas se refieren principalmente a la promoción de la transparencia en las componentes de software, y al proceso de las partes interesadas en la capacidad de actualización y aplicación de parches de seguridad de la Internet de las Cosas.

Documento de 2017

Con una visión más general de la Internet de las Cosas, más allá de la seguridad, en abril de 2016 la NTIA⁶⁸, otra agencia del Departamento de Comercio emitió un requerimiento de comentarios a todas las partes interesadas⁶⁹ sobre “Los beneficios, Desafíos y Roles Potenciales para el Gobierno Fomentando el Avance de la Internet de las Cosas”. El objetivo fue revisar el ambiente tecnológico y de políticas para evaluar los beneficios y desafíos y el rol para el gobierno de los EE. UU. Múltiples respuestas fueron enviadas, por ejemplo, la de la GSMA de junio de 2016, que se extiende en la visión de la Industria⁷⁰.

Posteriormente, en Setiembre de 2016 se realizó un Workshop⁷¹ para profundizar y discutir los comentarios recibidos, y explorar algunos nuevos asuntos que surgieron de la consulta. Su cierre fue postergado para el 13 de marzo de 2017, ya tomando en consideración un Green Paper emitido el 12 de

⁶⁶ <https://www.mayerbrown.com/en/perspectives-events/publications/2020/12/us-congress-passes-significant-legislation-on-the-security-of-the-internet-of-things>.

⁶⁷ <https://www.ntia.doc.gov/category/internet-things>.

⁶⁸ National Telecommunications and Information Administration.

⁶⁹ <https://www.federalregister.gov/documents/2017/02/24/2017-03682/the-benefits-challenges-and-potential-roles-for-the-government-in-fostering-the-advancement-of-the>.

⁷⁰ <https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2017/06/GSMA-Response-to-US-Dept-of-Commerce-Consultation-on-IoT.pdf>.

⁷¹ <https://ntia.doc.gov/other-publication/2016/09012016-fostering-advancement-internet-things-workshop-webcast>.

enero de 2017⁷², el que representa el resultado del análisis realizado por el Departamento de Comercio sobre todos los comentarios.

Reconoce la importancia vital de la Internet para la innovación, prosperidad, educación y vida cívica y cultural de los EE. UU., e identifica asuntos clave en el desarrollo de la IoT, destaca beneficios y desafíos, y discute que rol, si es que alguno, debe desempeñar el Departamento de Comercio en este escenario cambiante.

El Departamento de Comercio emitió el Green Paper resumiendo los principios directrices y un enfoque para dar soporte al avance de la Internet de las Cosas. El documento, desarrollado conjuntamente por la Fuerza de Tareas de Políticas de Internet y por el Equipo Líder de la Economía Digital, encontró que la escala creciente, los alcances y la apuesta de la IoT va a conducir a oportunidades y desafíos que son cualitativamente diferentes a los avances tecnológicos anteriores.

Se destacan los principios que derivan de los aportes de las partes interesadas y del Departamento de Comercio:

- El Departamento liderará los esfuerzos para asegurar que el ambiente de la IoT sea inclusivo y ampliamente accesible a los consumidores, los trabajadores y las empresas.
- El Departamento recomendará una política y tomará acciones para dar soporte a un ambiente de IoT estable, seguro y confiable.
- El Departamento va a abogar por y defender un ambiente IoT globalmente conectado, abierto e interoperable, construido sobre estándares basados en el consenso e impulsados por la industria.
- El Departamento impulsará el crecimiento y la innovación de la IoT expandiendo los mercados y reduciendo las barreras de entrada, y convocando a las partes interesadas para exponer desafíos a las políticas públicas.

El documento agrega además cuatro grandes áreas de acción para implementar estos principios.

- i) **Permitiendo la habilitación de tecnologías y de acceso.** El crecimiento de los dispositivos de IoT Impondrá requerimientos importantes sobre la infraestructura de acceso y transmisión. La IoT va a depender de redes de comunicaciones públicas y privadas y usará tecnologías fijas, móviles y satelitales. Es importante fortalecer las redes heredadas y construir nuevas redes de banda ancha.
- ii) **Elaborar políticas balanceadas y condiciones de construcción de redes.** La IoT llevará el software y la conectividad en todos los sectores de nuestro hogar, nuestra empresa y el espacio público. Como respuesta el documento sugiere que el Departamento de Comercio trabaje para remover barreras e impulsar la coordinación y la colaboración entre todas las partes interesadas (gobierno, sociedad civil, academia, comunidad tecnológica y el sector privado, local y global) para asegurar una política prospectiva, adaptable y balanceada que fomente la innovación haciendo frente a los riesgos y desafíos. El Libro Verde también propone que el Departamento busque influir, analizar, idear y promover normas y prácticas que protegerán a los usuarios de IoT al tiempo que alentarán el crecimiento, el avance y la aplicabilidad de las tecnologías IoT.
- iii) **Promover estándares y avances tecnológicos.** El Gobierno de los Estados Unidos tiene un importante papel que desempeñar para apoyar el desarrollo de los estándares de la IoT. El

⁷² https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/iot_green_paper_01122017.pdf.

documento propone que el Departamento ayude a asegurar que se desarrollen las normas técnicas, que se apliquen para soportar la interoperabilidad global de IoT y que las aplicaciones técnicas y dispositivos para apoyar IoT continúen su avance. El Libro Verde sugiere que el Departamento haga ésto supervisando los desarrollos tecnológicos y aplicaciones relacionados con IoT, y contribuyendo a la investigación y el desarrollo que implican esas tecnologías. También propone que el Departamento abogue por las normas internacionales para las tecnologías y aplicaciones IoT en sus compromisos bilaterales y multilaterales basadas en el liderazgo de su industria, y en el consenso, así como que participe activamente en el desarrollo de normas técnicas para IoT.

- iv) **Alentar e impulsar los mercados.** El Gobierno de los Estados Unidos, y el Departamento de Comercio en particular, pueden ayudar a impulsar el desarrollo y crecimiento del mercado de dispositivos IoT siendo un consumidor líder y adoptante de IoT; ayudando a abordar los problemas de mano de obra que surgirán debido al despliegue de IoT; y ayudando a mejorar la comprensión, planificar y responder a la IoT mediante la cuantificación y medición del despliegue y uso de la IoT.

5. Brasil

La Cámara de Gestión y Monitoreo del Desarrollo de Sistemas de Comunicación máquina a máquina e Internet de las Cosas (Cámara IoT) es un organismo multisectorial central para la IoT en Brasil y fue establecido en mayo de 2014, primeramente, llamada Cámara M2M.

Inicialmente fue administrada por la Secretaría de Telecomunicaciones (SETEL), y tras la reforma ministerial de 2016 que derivó en la fusión del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación con el Ministerio de Comunicaciones, la Cámara IoT⁷³ pasó a ser gestionada por la Secretaría de Políticas Digitales (SEPOD) y presidida por la Secretaría de Políticas Digitales del recién creado Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovaciones y Comunicaciones (MCTIC).

La Cámara de IoT tiene como objetivos:

- seguir la evolución y aparición de nuevas aplicaciones de máquina a máquina y la Internet de las Cosas;
- subsidiar la formulación de políticas públicas que estimulen el desarrollo de sistemas máquina a máquina y la Internet de las Cosas;
- promover y coordinar la cooperación técnica entre todos los actores que forman parte del ecosistema de Internet de las Cosas en Brasil.

La Cámara de IoT hoy está formada por 65 instituciones, incluyendo agencias gubernamentales, instituciones de iniciativa privada, universidades y centros de investigación.

El trabajo inicial en esta línea de acción es el documento de 2017⁷⁴, "Internet de las cosas: Un plan de acción para Brasil", desarrollado por el Banco Nacional de Desarrollo Económico y Social (BNDES) en asociación con MCTIC, que llevó a cabo el diagnóstico, definió los sectores prioritarios y realizó la propuesta de políticas públicas relacionadas con IoT para Brasil.

El estudio señaló cuatro áreas prioritarias para el uso a gran escala de la IoT en el país: Ciudades, Salud, Industria (Textil, Automovilística y Extractiva) y Agricultura. A cada uno de estos sectores se le ha asignado una Cámara 4.0 con la participación de MCTI, ministerios, el sector privado y la academia

⁷³ https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/inovacao/paginas/politicasDigitais/internet_coisas/_iot/Camara_IoT.html.

⁷⁴ <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>.

con el objetivo de promover el diálogo y acelerar la adopción de la tecnología en cada área. A partir de octubre de 2020, el MCTI también lanzó la Cámara de Turismo 4.0.

Por decreto de junio de 2019⁷⁵ la Presidencia de la República instituye el Plan Nacional de la Internet de las Cosas y dispone sobre la Cámara IoT.

El artículo 1 establece algunos principios de primer nivel respecto de los datos en cuanto a que se implementará y desarrollará la Internet de las Cosas basado en la libre competencia y circulación de datos, respetando las directrices para la seguridad de la información y la protección de datos personales. O sea, permitiendo el uso social de los datos anonimizados.

El artículo 3 establece los objetivos del Plan Nacional de la Internet de las Cosas:

I - mejorar la calidad de vida de las personas y promover el aumento de la eficiencia en los servicios a través de la implementación de soluciones de la IoT;

II - promover la formación profesional relacionada con el desarrollo de aplicaciones IoT y la generación de puestos de trabajo en la economía digital;

III - aumentar la productividad y fomentar la competitividad de las empresas brasileñas que promueven la IoT, mediante la promoción de un ecosistema de innovación en este sector;

IV - buscar alianzas con los sectores público y privado para la implementación de la IoT; y

V - aumentar la integración del país en el escenario internacional, a través de la participación en foros de normalización, la cooperación internacional en investigación, desarrollo e innovación y la internacionalización de las soluciones de la IoT desarrolladas en el país”.

Estos objetivos son comunes a las Mejores Prácticas observadas en el mundo.

El artículo 4 dispone que el MCTIC indicará los sectores priorizados, entre los cuales se encontrarán los ya definidos en el Plan de 2017: Ciudades, Salud, Industria y Agricultura.

El artículo 5 identifica los sectores y acciones horizontales que identificarán las soluciones para viabilizar el Plan:

I - ciencia, tecnología e innovación;

II - inserción internacional;

III - educación y formación profesional;

IV - infraestructura de conectividad e interoperabilidad;

V - regulación, seguridad y privacidad; y

VI - viabilidad económica”.

Por otra parte, alinea todas estas acciones con la Estrategia Brasileira para la Transformación Digital, de conformidad con las disposiciones del Decreto N.º 9.319 de 2018.

Además, establece que la Cámara IoT es el órgano asesor encargado de supervisar la aplicación del Plan Nacional de Internet de las Cosas, y le compete:

I - monitorear y evaluar las iniciativas para implementar el Plan Nacional de Internet de las Cosas;

⁷⁵ DECRETO N.º 9.854, DE 25 DE JUNHO DE 2019.

II - promover y fomentar alianzas entre entidades públicas y privadas para alcanzar los objetivos del Plan Nacional de Internet de las Cosas;

III - debatir con los órganos y entidades públicas los temas del plan de acción relativo al artículo 5;

IV - apoyar y proponer proyectos movilizadores; y

V - trabajar en conjunto con organismos y entidades públicas para estimular el uso y desarrollo de soluciones IoT”.

6. Unión Europea

El marco general de la política de la Unión Europea sobre la Internet de las cosas es presentado en el sitio de la Comisión Europea, “Dando forma al futuro digital de Europa”⁷⁶.

“La Internet de las Cosas (IoT) fusiona los mundos físico y virtual, creando ambientes inteligentes. La Comisión Europea coopera activamente con la industria, las organizaciones y las instituciones académicas para liberar el potencial de la tecnología IoT en los Estados miembros de la UE y más allá”.

Específicamente indica sobre la política de la IoT en Europa:

“La Comisión Europea ha adoptado un conjunto de acciones políticas de apoyo para acelerar la adopción de IoT y liberar su potencial en Europa en beneficio de los ciudadanos y de las empresas europeas.

*En marzo de 2015, la Comisión Europea lanzó la **Alianza para la Innovación en Internet de las Cosas (AIOTI)** para apoyar la creación de un ecosistema europeo de Internet de las Cosas innovador e impulsado por la industria. La Comisión Europea está trabajando estrechamente con AIOTI y todas las partes interesadas y actores de IoT para el establecimiento de un mercado europeo de IoT competitivo y la creación de nuevos modelos de negocio. Hoy en día, la AIOTI es la mayor asociación europea de IoT.*

La Comisión Europea publicó en abril de 2016 el documento de trabajo de los servicios de la Comisión Europea “Avanzando en la Internet de las cosas en Europa”⁷⁷. Este documento forma parte de la iniciativa “Digitalizar la industria europea”⁷⁸ y especifica la visión de la IoT de la UE, que se basa en tres pilares:

- 1. Un próspero ecosistema de la IoT;*
- 2. Un enfoque de la IoT centrado en el ser humano;*
- 3. Un mercado único para la IoT.*

Para una mejor comprensión del ecosistema, el Estudio de Clústeres⁷⁹ (2019) ha investigado el panorama de los Clústeres físicos y virtuales de empresas, organizaciones de investigación y académicos que trabajan en la innovación, el desarrollo y el despliegue en el mercado de tecnologías y aplicaciones de IoT”.

“El Estudio de Clústeres proporciona una amplia visión general y análisis del ecosistema europeo, dentro del cual se desarrollan soluciones y aplicaciones de IoT. También proporciona una amplia revisión y evaluación de los procesos y la dinámica de los clústeres de IoT, de sus

⁷⁶ Shaping Europe’s digital future. Europe’s Internet of Things Policy. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/iot-policy>.

⁷⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016SCo110&from=EN>.

⁷⁸ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/digitising-european-industry-initiative-nutshell>.

⁷⁹ <https://aioti.eu/wp-content/uploads/2020/02/IoTInnovationClustersFinalReportFINALpdf.pdf>.

fundamentos y ciclo de vida, sus factores de emergencia, impulsores clave, características comunes, así como de su sostenibilidad y factores clave de éxito.

Existe una tendencia generalizada de las empresas de TIC y las organizaciones de investigación a agregarse en clústeres de innovación, que están desarrollando activamente soluciones innovadoras de IoT. Crean nuevas aplicaciones, cadenas de valor transfronterizas y ecosistemas para aprovechar las oportunidades que ofrece la tecnología y la creciente masa de datos disponibles.

Instituciones de renombre, organismos de investigación y think-tanks reconocieron a IoT como un área tecnológica y un campo de aplicación de rápido desarrollo, con un potencial muy alto para responder a un conjunto ampliamente diversificado de necesidades, desde aplicaciones industriales hasta sistemas de redes, de ciudades inteligentes, desde problemas ambientales hasta aplicaciones que responden a necesidades individuales. Los pronósticos del mercado y las hojas de ruta tecnológicas proporcionan evidencia y apoyo a estas tendencias".

Continúa el análisis de la política de IoT de Europa. "Un obstáculo potencial para la consecución de un mercado único para el IoT tiene que ver con cuestiones relacionadas con la capacidad de manejar una gran diversidad y grandes volúmenes de dispositivos conectados, y la necesidad de identificarlos de forma segura y poder descubrirlos para que puedan conectarse a los sistemas IoT. En este contexto, es importante promover un espacio de numeración IoT interoperable para una identificación universal de objetos que trascienda los límites geográficos, y un sistema abierto para la identificación y autenticación de objetos. Algunos aspectos de la numeración ya se abordan en la revisión de 2016 de las normas de la UE en el sector de las telecomunicaciones.

La iniciativa "Economía europea de los datos"⁸⁰, de enero de 2017, también contribuye a la creación de un mercado único europeo para la IoT. Esta iniciativa propone soluciones políticas y jurídicas relativas a la libre circulación de datos a través de las fronteras nacionales en la UE, y a cuestiones de responsabilidad en entornos complejos como el de IoT. Especialmente, la responsabilidad es decisiva para mejorar la seguridad jurídica en torno a los productos y servicios de IoT. Para proporcionar un primer mapa de los desafíos de responsabilidad que se producen en el contexto de las tecnologías digitales emergentes, incluida la IoT, la Comisión Europea publicó en 2018 un documento⁸¹ de trabajo del personal de la Comisión sobre la responsabilidad por las tecnologías digitales emergentes."

Acompañando las líneas generales de las políticas europeas sobre la IoT existen varios sitios de trabajo y apoyo para el desarrollo y despliegue de la IoT.

- AIOTI⁸². La Comisión Europea ha iniciado en el 2015 la iniciativa para el desarrollo de la IoT, denominada "Alianza para la innovación de la IoT" (AIOTI). Su objetivo principal es desarrollar y soportar el diálogo entre las partes interesadas en la IoT en Europa, creando un ecosistema dinámico, a los efectos de liberar todo el potencial de la IoT. En setiembre de 2016 fue aprobada su aplicación para establecerse como Asociación bajo las leyes de Bélgica. Este acontecimiento le permite avanzar en establecer una relación con la Comisión Europea como una Plataforma Tecnológica Europea. Se encuentra trabajando en diversos grupos de trabajo en varios temas relativos a la IoT, y principalmente en la armonización.
- Mapping Internet of Things innovation clusters in Europe⁸³. Es una importante fuente de información sobre los clústeres, de diversos tipos y objetivos (geográficos, virtuales,

⁸⁰ <https://link.springer.com/article/10.1007/s40319-017-0604-z>.

⁸¹ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018SC0137&from=en>.

⁸² www.aioti.eu.

⁸³ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/iot-innovation-clusters>.

temáticos e institucionalizados), desarrollados para impulsar la IoT. El Estudios de Clústeres de 2019 es parte de este trabajo.

- IoT European Platforms Initiative⁸⁴. La IoT - European Platforms Initiative (IoT-EPI) se formó para construir un ecosistema de IoT vibrante y sostenible en Europa, maximizando las oportunidades para el desarrollo de plataformas, la interoperabilidad y el intercambio de información. Siete proyectos líderes de investigación e innovación hacen que su tecnología sea accesible a terceras partes. Además, una fuerte estructura de apoyo y financiación (convocatorias abiertas, talleres) fomenta una mayor colaboración.
- Proyectos IoT con el Horizonte 2020⁸⁵.

Comunicación de la Comisión⁸⁶

La industria europea emite esta comunicación con el fin de hacer público el reto de aprovechar las oportunidades que brinda la Internet de las Cosas, la 5G, la informática en la nube, los Grandes Datos, la analítica y los ciber físicos. La Comisión entiende que es esencial para garantizar la competitividad de Europa a medio y largo plazo, con implicaciones para el bienestar general. Es el objetivo que ha motivado a otros países a efectuar los mismos movimientos.

Esta Comunicación forma parte de la iniciativa de 2015 de constituir un Mercado Único Digital (DSM) para atraer inversiones y asegurar el rápido crecimiento de las empresas en la economía digital. Es también parte de un marco estratégico de iniciativas para reforzar la competitividad de la Industria, sobre todo de las Pequeñas y Medianas. Se reconoce que en Europa hay un rezago de estas empresas, así como las de mediana capitalización y las no tecnológicas, así como de algunas regiones respecto de otras.

Esta comunicación incluye un marco para la coordinación de las iniciativas nacionales y regionales, las medidas políticas relacionadas con las inversiones, la aceleración del desarrollo de las normas sobre las TIC, el análisis de la situación regulatoria y la adaptación de los trabajadores, incluyendo su capacitación. Al igual que otros países, se incluyen también las medidas a tomar a nivel gubernamental como motor de la demanda de las soluciones digitales.

En la descripción del camino que debe seguirse se presentan en esta comunicación, de forma detallada, diversas acciones que coinciden en general con la que se encuentran en documentos e iniciativas de otros países o recomendaciones de instituciones internacionales.

- Un marco para la coordinación de las iniciativas para digitalizar la industria.
- Inversión conjunta en el fomento de capacidades de innovación digital de Europa.
 - Promover la innovación digital en todos los sectores: centros de innovación digital en Europa.
 - Asociaciones para el liderazgo en las cadenas del valor y las plataformas de las tecnologías digitales.

⁸⁴ <https://iot-epi.eu/>.

⁸⁵ [https://cordis.europa.eu/search?q=\(%27internet%27%20AND%20%27of%27%20AND%20%27things%27\)%20AND%20%27Project%27%20AND%20%27FstartDate%3E%3D20100101%20AND%20contenttype%3D%27project%27&p=1&num=100&srt=/project/contentUpdateDate:decreasing&searchType=advanced](https://cordis.europa.eu/search?q=(%27internet%27%20AND%20%27of%27%20AND%20%27things%27)%20AND%20%27Project%27%20AND%20%27FstartDate%3E%3D20100101%20AND%20contenttype%3D%27project%27&p=1&num=100&srt=/project/contentUpdateDate:decreasing&searchType=advanced).

⁸⁶ COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. Digitalización de la industria europea. Aprovechar todas las ventajas de un mercado único digital. COM (2016) 180 final Bruselas, 19.4.2016. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0180&from=ES>.

- Normalización: dar prioridad e intensificar los esfuerzos en las arquitecturas de referencia y la experimentación.
- Ofrecer las condiciones adecuadas en el marco reglamentario.
- Un capital humano preparado para la transformación digital con las competencias necesarias al efecto.

BEREC

El BEREC ha emitido un documento en 2016 denominado “Habilitando la Internet de las Cosas”⁸⁷, el que contiene los siguientes asuntos principales.

BEREC considera, en el marco de la revisión para el Mercado Único Digital, no es necesario un tratamiento especial para la IoT y/o las comunicaciones M2M, excepto en las siguientes áreas:

- Roaming.
- Conmutación.
- Portabilidad Numérica.

Con respecto a la privacidad, BEREC entiende que debe haber una evolución cuidadosa, pero no un cambio total en las reglas actuales de protección de datos. Igualmente considera que con el avance de los estudios puede resultar necesario efectuar cambios en el marco regulatorio. BEREC entiende también que es necesario llegar a un equilibrio entre la captura, almacenamiento, procesamiento y uso de datos, algo esencial a la IoT, y el derecho a la privacidad de los usuarios. También entiende que el éxito en la protección de la privacidad está ligado al éxito de la IoT en general.

En cuanto a los identificadores empleados por la IoT en las redes públicas del Grupo 3GPP, éstos son los códigos numéricos según las normas: E164⁸⁸ y E212 (IMSI⁸⁹). En el corto y mediano plazo estos números continuarán cumpliendo su función de identificación unívoca de los dispositivos IoT.

Además de los números de teléfono, el direccionamiento IP será muy importante como un recurso de direccionamiento complementario para los servicios de IoT cuando fuera posible en las redes móviles públicas direccionar dispositivos directamente a través de direcciones IP.

En marzo de 2020, el BEREC emite las “Directrices relativa a criterios comunes para la evaluación de la capacidad de gestionar los recursos de numeración por parte de empresas distintas de los proveedores de redes o servicios de comunicaciones electrónicas (ECN/ECS), y del riesgo de agotamiento de los recursos de numeración si se asignan números a dichas empresas”⁹⁰.

Este documento actualiza algunas directrices de 2016 analizadas más arriba, y es una buena referencia en cuanto al empleo para la IoT de la numeración usual de los proveedores de red o servicios de telecomunicaciones que trabajan con los estándares del 3GPP.

⁸⁷ https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/5755-berec-report-on-enabling-the-internet-of-things.

⁸⁸ UIT. Plan internacional de numeración de comunicaciones públicas móviles. Los números UIT-T E.164 internacionales constituyen la base del direccionamiento mundial en redes de terminales fijos y móviles.

⁸⁹ IMSI. International Mobile Subscriber Identity. Es un código numérico de identificación de estaciones de telefonía móvil, incluyendo país, red móvil e identificador del terminal. Se rige por la norma E 212 de la UIT-T.

⁹⁰ https://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/regulatory_best_practices/guidelines/9034-berec-guidelines-on-common-criteria-for-the-assessment-of-the-ability-to-manage-numbering-resources-by-undertakings-other-than-providers-of-electronic-communications-networks-or-services-and-of-the-risk-of-exhaustion-of-numbering-resources-if-numbers-are-assigned-to-such-undertakings.

“La demanda de recursos de numeración ha aumentado drásticamente, principalmente a través de la difusión de los servicios de máquina a máquina (M2M) y el desarrollo de dispositivos y productos conectados que equipan dispositivos usables, automóviles, hogares, edificios, etc. La intensidad de ese crecimiento es tan importante que podría conducir, a medio plazo, a la escasez de algunos recursos de numeración. Una característica clave de esta gran demanda de números para los proveedores de servicios M2M es que una proporción significativa de dispositivos y productos conectados deben poder circular libremente y, por lo tanto, poder conectarse localmente a redes públicas de comunicaciones electrónicas con identificadores adecuados, como los recursos de numeración. El crecimiento y el potencial innovador de los servicios M2M se basan en el establecimiento de condiciones competitivas de entrada en el mercado, asociadas a la concesión de recursos de numeración en condiciones coherentes en toda la Unión”.

“Estas directrices sólo se refieren a la asignación a entidades no ECN/ECS. Esto implica que estas entidades no proporcionan ECN/ECS disponible públicamente, sino que utilizan los recursos de numeración asignados para la prestación de servicios específicos, de conformidad con el código EECC (European Electronic Communications Code). Por lo tanto, estas directrices no se aplicarán a la asignación de recursos de numeración a proveedores ECN/ECS. Estas directrices solo son aplicables a aquellos Estados Miembro (MS) que opten por asignar recursos de numeración a entidades que no sean ECN/ECS”.

En cuanto a los criterios recomendados establece principalmente lo siguiente:

“De conformidad con el apartado 2 del artículo 93 del Código EECC, la asignación de recursos de numeración a entidades no ECN/ECS queda a discreción de cada Estado Miembro y podría prescribirse específicamente en su propio marco nacional de comunicaciones electrónicas.

En esa medida, cada NRA/CA⁹¹ podría considerar si es necesario:

- identificar nuevas gamas de recursos de numeración o reasignar una gama actual para la asignación a proveedores ECN/ECS y entidades no ECN/ECS, teniendo también en cuenta que dichos recursos pueden tener derechos extraterritoriales de uso;
- revisar la longitud de los números y el tamaño de los bloques numéricos que se van a asignar;
- limitar la asignación a entidades no ECN/ECS a tipos específicos de recursos de numeración.
- Además, estas NRA/CA deberían considerar la forma en que las entidades no ECN/ECS, en su calidad de asignatarios, pueden cooperar en la prevención y en la investigación en caso de uso fraudulento y/o mal uso de los recursos de numeración.

Establece finalmente los criterios mínimos que deben cumplirse independientemente de los respectivos recursos de numeración cuando un Estado miembro opta por la asignación de recursos de numeración a entidades no ECN/ECS. Los Estados Miembro podrían imponer criterios adicionales para la evaluación de la capacidad de gestionar recursos de numeración específicos por entidades no ECN/ECS.

La mayoría de los asuntos que los reguladores deben solucionar al respecto son los relativos a la conectividad móvil. En primer lugar, la supuesta escasez de números E164 parece no ser un problema por el momento. Es un tema que podría resolverse como se describe en las Directivas. En segundo lugar, la regulación en muchos países no permite asignar MNC (Código de red móvil) a los usuarios de la IoT, a pesar de que es un mecanismo de fácil cambio de proveedor, junto con la provisión del SIM a través del enlace de radio (OTA), sin necesidad de cambiar la tarjeta. Igualmente, este tema de la numeración

⁹¹ National Regulatory Authorities or other Competent Authorities (NRAs/CAs).

debe ser atendido a tiempo. En tercer lugar, el permiso para el uso del mismo sistema de numeración de un país en otro para el desarrollo de aplicaciones regionales o globales es básico para el desarrollo de la IoT.

En cuanto a las regulaciones de seguridad aplicadas a los Servicios de Comunicaciones Electrónicas (ECS) podrían aplicarse a la IoT, o al menos al servicio de conectividad que soporta las aplicaciones. En cualquier caso, esas regulaciones son insuficientes en el ámbito de la IoT principalmente por la debilidad de los dispositivos de bajo costo. Debido a la simplicidad y al bajo consumo de energía, no están en condiciones de desarrollar procedimientos complejos de seguridad.

7. Organización de Cooperación y Desarrollo Económico

"La Internet de las cosas: aprovechando los beneficios y abordando los desafíos".

Se presenta un resumen de los asuntos más destacados, y de vigencia actual, que expresan la posición de la OCDE a partir del principal documento económico publicado en 2016⁹², en el marco del Panel 2.2 de la Reunión Ministerial en Economía Digital, junto con comentarios que se incluyen, contextualizando lo expresado en el documento de la OCDE.

"La combinación de conectividad de red, colocación generalizada de sensores y técnicas sofisticadas de análisis de datos permiten ahora a las aplicaciones agregar y actuar sobre grandes cantidades de datos generados por los dispositivos de IoT en los hogares, espacios públicos, la industria y el mundo natural. Estos datos agregados pueden impulsar la innovación, investigación y marketing, así como optimizar los servicios que los generaron. Las técnicas de la IoT afectarán el cambio a gran escala en cómo las personas viven y trabajan. Una cosa en la Internet de las Cosas puede ser un objeto inanimado que ha sido digitalizado o equipado con tecnología digital, máquinas interconectadas o incluso, en el caso de salud y aptitud física, los propios cuerpos de la gente. Tales datos pueden utilizarse luego para analizar patrones, anticipar los cambios y de modificar un objeto o entorno para obtener del resultado deseado, a menudo de forma autónoma".

Obsérvese la importancia que se le asigna a la recopilación masiva de información para mejorar a la sociedad en todo sentido. Por ello resulta necesario disponer de regulaciones para la seguridad, la protección de datos y la privacidad que sean consistentes con los objetivos que cada persona busque al integrar la IoT, pero que también permitan el uso anónimo de información agregada para el beneficio de la Sociedad.

"Más generalmente, la IoT permite soluciones a medida, tanto en términos de producción y servicios, en todas las áreas de la industria. Por ejemplo, la visión proporcionada por el análisis de datos de la IoT puede habilitar el tratamiento médico preciso o puede determinar el tamaño óptimo del lote de almacenes para algunos productos, efectivamente, lo que permite la adaptación de los procesos de producción como sea necesario. En el contexto de la fabricación, esto permitiría un mayor uso de la producción a medida en lugar de intentar predecir la demanda del mercado masivo. La IoT puede también empoderar y capacitar a la gente de formas que no serían posible de otra manera, por ejemplo, habilitando la independencia para personas con discapacidades y necesidades específicas, en áreas como transporte, o ayudando a afrontar los retos asociados a un envejecimiento de la sociedad. Aquellos países que anticipan los retos mientras fomentan su mejor uso estarán en mejores posiciones para aprovechar los beneficios".

⁹² OECD (2016), "The Internet of Things: Seizing the Benefits and Addressing the Challenges", OECD Digital Economy Papers, No. 252, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/5jlwvzz8tdon-en>.

Este párrafo que sintetiza los resultados de la implantación de la IoT. aboga por un principio que todos los países deberían analizar y adoptar:

Aquellos países que anticipan los retos que impone la IoT, mientras fomentan su mejor uso, estarán en mejores posiciones para aprovechar los beneficios en el futuro.

"Todas las partes interesadas solo pueden ganar compartiendo las mejores prácticas para aprovechar los beneficios de la IoT mientras atienden los desafíos relativos. Con seguridad éste será un ambiente de cambio rápido tecnológico, social y comercial, alrededor del potencial de la IoT. Consecuentemente, los principios tales como flexibilidad, transparencia, equidad, y hasta donde se pueda, prospectividad, serán críticos para evitar las barreras en la difusión de la tecnología".

El ecosistema de la IoT requiere intenso trabajo de todas las partes interesadas tratando de considerar y encaminar todos aquellos aspectos que serán de interés común, dejando para grupos independientes aquellos asuntos que no sean de interés común.

"La IoT impone diversas demandas en servicios e infraestructuras de comunicación. Las políticas que promueven la disponibilidad, calidad y utilización de estas infraestructuras y servicios serán esenciales en este desarrollo. En este sentido, las normas y gobernanza internacional deberían ser revisadas para asegurar el funcionamiento y seguridad de las redes de comunicación y servicios, y así contribuir a la construcción de confianza en la IoT".

Con estos aspectos descritos se exponen las principales Mejores Prácticas expresadas en este documento para enfrentar los desafíos del desarrollo de la IoT.

- **Impulsar la innovación del sector privado** tomando ventaja de la IoT y mejorar las condiciones para la creación de nuevas firmas y modelos de negocio que se desarrollan alrededor de las oportunidades creadas por ella. En algunos casos, las cadenas de valor podrían apalancar las oportunidades de la IoT atravesando firmas y crear efectos multiplicativos a través de la compartición de costos. Por ejemplo: la IoT permite a las firmas desplegar más ampliamente los modelos de negocio basados en servicios. Tanto las empresas pequeñas como las grandes estarán progresivamente arrendando sus productos y compitiendo en el Costo Total de Propiedad (TCO = Total Cost of Ownership) en lugar de en el costo de compra.
- **Adaptar las políticas de investigación e innovación** a través de una amplia gama de sectores y aplicaciones para que la IoT sea una parte priorizada del esfuerzo global de investigación, incluyendo financiamiento. Esto, por ejemplo, ayuda a medir y evaluar el progreso para que las políticas se adapten a los desarrollos actuales y futuros de IoT. Mientras que los beneficios de mejoras en los componentes de base de IoT, tales como mejores comunicaciones M2M, procesamiento de datos, sensores y actuadores serán visibles y medibles, es más desafiante y compleja la medición de los retornos de la inversión en innovación, aplicación e integración de IoT, como con muchos temas de investigación emergentes.
- **Evaluar y juzgar las políticas y las prácticas existentes para ver si son convenientemente de apoyo de la IoT y no constituyen barreras involuntarias a los beneficios potenciales de la IoT.** Puede haber una necesidad de considerar la adaptación de los reglamentos existentes y prácticas si se basan en supuestos que pueden inhibir la aplicación de la IoT. Por ejemplo: reglas de la salud que no consideran la posibilidad del control remoto del tratamiento¹ dico. En este aspecto, la IoT podrá permitir evaluaciones médicas presenciales más espaciadas y atención remota, lo que debe considerar el impacto sobre los ingresos médicos.

- **Promover el uso de normas técnicas mundiales para la IoT** desarrolladas por instituciones reconocidas de normalización o consorcios de la industria. La normalización desempeña un papel clave en el desarrollo de un ecosistema de IoT interoperable y es esencial para estimular la aparición de nuevos sistemas, impulsar la innovación y reforzar la competitividad. Con el tiempo, la madurez tecnológica y la opción del usuario final, permitirá en última instancia identificar los enfoques más prometedores de la normalización.
- **Evaluar los recursos de espectro para satisfacer las necesidades de IoT**, actuales y futuras. Diferentes elementos de la IoT, desde máquinas hasta sensores, necesitan una variedad de recursos de espectro que es apto para el propósito. Las autoridades competentes deben evaluar las demandas futuras de espectro y revisar los mecanismos por los cuales podrían generar espectro disponible para una gama de usos, incluyendo para la IoT.
- **Promover habilidades para maximizar las oportunidades en el mercado de trabajo**, y apoyo a los trabajadores cuyas tareas se convierten en desplazadas por tareas habilitadas con IoT y por máquinas y sistemas robóticos, con programas de asistencia y reconversión de ajuste. Por ejemplo: nuevos puestos de trabajo en servicios relacionados con la IoT se crearán, por ejemplo, en la analítica de datos, mientras que tareas existentes se pueden mejorar a través de la disponibilidad de nuevas herramientas. En un área como almacenes, la IoT puede mejorar la calidad de los empleos, aunque menos empleados serán requeridos en cada vez más instalaciones robotizadas.
- **Crear confianza en el IoT gestionando los riesgos de seguridad y la privacidad digitales**⁹³. La confianza se beneficiaría de la mayor interoperabilidad transfronteriza e intersectorial de los marcos de políticas, particularmente para productos de IoT en el mercado de consumo. La privacidad, seguridad, responsabilidad, y protección de los consumidores se ven afectados por la omnipresencia y la longevidad de la IoT. Los gobiernos podrían alentar a proseguir el diálogo a través de las agencias reguladoras y con sectores que tradicionalmente no están estrechamente implicados en comunicaciones, como servicios de transporte, salud o servicios, entre otros. Por ejemplo: ¿Qué derechos o controles debe poder ejercer un consumidor sobre los datos recogidos por un automóvil conectado o un medidor de consumo inteligente, y cuál es un satisfactorio nivel de granularidad para los derechos o controles?
- **Desarrollar marcos de datos abiertos** que permiten la reutilización de conjuntos de datos de gobierno y fomentar la industria para compartir, para beneficio público, sus datos no sensibles.
- **La flexibilidad es esencial para la numeración** debido a que diferentes servicios o usuarios M2M pueden tener diferentes requisitos. La industria hace uso de los números nacionales de manera extraterritorial, así como los números internacionales para implementar servicios conectados usando IoT. Además, los reguladores deberían cuidadosamente evaluar la introducción adicional y la eliminación de las existentes, de las restricciones o barreras administrativas relacionadas con la asignación y uso de los recursos de numeración, ya que podría actuar como una barrera para el despliegue de un mercado global M2M.
- **Estimular el despliegue de IPv6 como un habilitador de la IoT**. Debido al agotamiento de las direcciones IPv4, el despliegue de IPv6 es inevitable y la promoción de la transición hacia IPv6 es el camino más efectivo para desarrollar la IoT. Muchos gobiernos ya han establecido

⁹³ Se recomienda referirse a los documentos OECD 2015 Recommendation on Digital Security Risk Management for Economic and Social Prosperity and OECD Privacy Guidelines.

programas de promoción, adaptado las compras gubernamentales y establecido Grupos de Trabajo con la industria para acelerar más el soporte del IPv6 a la IoT.

B. Propuestas de políticas y reglamentaciones para el despliegue de la IoT

Estas propuestas toman en consideración los fundamentos tecnológicos, socio económicos y de mercado de la IoT, así como las mejores prácticas internacionales, de las cuales varias han sido desarrolladas en la sección "VII.A. ANTECEDENTES". Se presenta un conjunto amplio y completo de las políticas y reglamentaciones como una propuesta de guía para la formulación de políticas y reglamentaciones orientadas al desarrollo óptimo de la IoT.

Las políticas públicas deberían considerar todos los aspectos que pueden limitar o potenciar los beneficios de la Internet de las Cosas, e involucrar a todas las partes interesadas. Deberían estar dirigidas a impulsar la innovación y el desarrollo económico y social, y conjuntamente mejorar el bienestar de la población. En su desarrollo se debería involucrar a las instituciones de gobierno, la academia, las empresas y los trabajadores en un diálogo inclusivo y de cooperación, que se desarrolle más allá de posibles prejuicios ante el avance ineludible de la IoT. O se es parte de este desarrollo mundial, u otros países se volverán más competitivos, y por lo tanto generarán brechas económicas y sociales con los países que más se atrasen en esta carrera. Los gobiernos deberían actuar como motores e incluir la IoT en sus actividades para mejorar la eficiencia, la eficacia, y en definitiva la competitividad del país.

El impacto sobre los ciudadanos es múltiple en cuanto a la educación, los puestos de trabajo, la salud, la eficiencia en el uso de recursos, el bienestar en general, y otros. Los efectos sobre el sector productivo ya han sido analizados en el capítulo V.

Cuando se habla de políticas, éstas no hacen referencia solamente a aquellas orientadas a la infraestructura propia de la IoT, sino también a las políticas orientadas a las industrias y las actividades económicas y sociales en general, impactadas por IoT. Por ejemplo, será posible tener que modificar las políticas referentes a la salud, al transporte, y otros.

1. Creación de una estructura de gobernanza

Debido a la complejidad de los temas relacionados a la IoT, es importante crear una estructura de gobernanza para la IoT, y las tecnologías conexas, orientada por un Consejo y sustentada por todas las partes interesadas, en la que tengan un papel preponderante las autoridades nacionales (Presidencia o mayoría del Consejo, etc.), con asesoramiento de grupos de interés, responsables de los múltiples aspectos involucrados. Este Consejo se observa con distintas modalidades y alcances en las Mejores Prácticas, pero con el mismo fin último de orientar el desarrollo de la IoT, como son los casos de la entidad gestora del Plan Maestro de la UIT, la IOTAA de Australia, el Departamento de Comercio de los EE.UU., la Cámara IoT de Brasil o la AIOTI a nivel europeo. El *Think Tank* que se analiza más adelante podría ser una entidad asesora del Consejo que agrupe estas partes interesadas. En este punto es necesario recordar que el avance de la IoT va a afectar, y posiblemente requiera acciones, en áreas como la gestión de la salud, las instituciones financieras, el transporte, el comercio, y muchas más. La formulación de las diferentes políticas respecto de la IoT debería ser gestionada por esa autoridad central, que articule los requerimientos y soluciones que emanan de ellas, y cuyos ejes principales serían, entre otros:

- Generar un ecosistema inclusivo, estable, seguro y confiable de la IoT que agrupe colaborativamente a todas las partes interesadas, incluyendo gobierno, academia, trabajadores y empresas, gestionado por una estructura de gobernanza.

- Creación de un *Think Tank* que provea los insumos relevantes, respecto de los avances y cambios permanentes que se presentan en el país y en el mundo para orientar óptimamente las acciones.
- Revisión de las políticas y regulaciones que pueden afectar el desarrollo de la IoT.
- Formulación de políticas que propicien el desarrollo de la IoT en el marco del desarrollo global.
- Acciones de las instituciones gubernamentales, a los diferentes niveles de gobierno, invirtiendo en sistemas de IoT para ciudades inteligentes, salud, seguridad, energía, servicios públicos estatales, y otros dentro de su ámbito. Incorporación de personal especializado en la IoT, o a especializar, en las agencias clave del Gobierno, que motorice la aplicación de la IoT en el Gobierno.
- Creación de regulaciones requeridas para el éxito y buen uso de la IoT, como regulaciones específicas para la seguridad y la privacidad y uso de datos públicos, incluyendo la normativa para el uso de los Grandes Datos.
- Formulación de políticas, y su implantación, que preparen a los ciudadanos para enfrentar los desafíos de la automatización de la producción y los servicios:
 - Creación de un modelo educativo que cree el capital humano necesario y predominantemente requerido en un plazo no mayor a 20 años para los grados mayores. Considerando el ciclo educativo, los cambios en la educación inicial son urgentes.
 - Desarrollo de plataformas de acceso a la educación por medios digitales, incluyendo el acceso en sí, los terminales y las plataformas de aprendizaje
 - Otras etapas intermedias son necesarias como el fortalecimiento en la enseñanza, en general, de materias relativas a las especialidades llamadas STEM⁹⁴ (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), y las especializaciones superiores en IoT y producción de Cuarta Generación. Interacción con el extranjero.
 - Elaboración, en paralelo a estos cambios en la educación, de planes de formación permanente que permitan enfrentar la desocupación no especializada progresiva que puede provocar el avance de la IoT.
- Formulación de políticas de estímulo de la inversión privada en capital físico de la IoT. Propiciar, cuando ello sea posible, el desarrollo de infraestructuras compartidas, principalmente a nivel del núcleo (core).
- Creación y participación de ámbitos de trabajo de armonización regional y mundial, y de actividades transfronterizas que ayuden a disponer de un ambiente de IoT abierto y globalmente interoperable.
- Aumento de recursos en I+D aplicables a la innovación, y/o a la incorporación y evolución de tecnologías existentes, a la creación de un sistema.

2. Políticas relativas a la educación y la formación permanente

Se destaca que ambos aspectos, que en conjunto son los generadores del Capital Humano, tienen tratamientos muy distintos tanto en cuanto a las políticas a aplicar como a las instituciones responsables de cada uno.

⁹⁴ Science, technology, engineering, and mathematics.

La IoT con sus aplicaciones, junto con los sistemas de sensores, actuadores y ciber físicos, los Grandes Datos y la analítica, la inteligencia artificial, el trabajo en la nube y en el borde, y la automatización de procesos, al igual que los procesos industriales revolucionarios anteriores (mecanización, electricidad y producción serial y automatización), producirá un aumento de la productividad, la profundización del capital y la reducción y sofisticación del esfuerzo humano necesario. El comportamiento del capital humano es una cuestión compleja y delicada debido a que inevitablemente incluye impactos importantes sobre los trabajadores actuales y aquellos que entren en el futuro.

Por tanto, todo lo relativo al capital humano debería ser tratado con prioridad debido a tres razones principales:

- i) Impacto social debido a que se trata del empleo que se pierde cuando avanza la IoT y la automatización.
- ii) Retardo en la obtención de resultados en el mejoramiento del capital humano debido a los largos ciclos educativos, los que pueden no ser acordes a los requerimientos de la revolución que trae la IoT.
- iii) La necesidad de la formación permanente en los trabajadores actuales en paralelo con su actividad productiva, lo que introduce complicaciones adicionales.

En primer lugar, la introducción de la IoT en la producción reduce los costos y precios, e inclusive genera más poder de compra a los trabajadores, pero al mismo tiempo puede reducir los puestos de trabajo. Este proceso conduce a una reducción de la demanda de puestos de trabajos no especializados o poco especializados, y un aumento de puestos de trabajo que den soporte a las nuevas tecnologías. La creación temprana de capital humano para esta nueva economía es esencial para impedir o mitigar la pérdida de trabajo no especializado.

También la fuerza de trabajo que pierde su ocupación por la incorporación de la IoT puede migrar a otros sectores económicos, para los cuales es necesario reciclar el capital humano.

Por ello es extremadamente importante la creación de planes de reconversión laboral alineados con las etapas previstas y en curso del avance de la nueva economía. Se debería mejorar la especialización, la creación de nuevas especializaciones, el acompañamiento en la evolución y la guía.

En segundo lugar, pero no menos importante, para tratar los problemas relativos a las mayores exigencias de capital humano, se debe prestar especial atención al mejoramiento y reorientación de la educación para formar las generaciones de estudiantes que entrarán en el mercado de trabajo en 15 - 20 años.

En esta línea de trabajo se destacan los siguientes ejes de una propuesta de política relativa a la formación regular en general y de largo plazo:

- Desarrollar una reforma educativa que permita obtener egresados del sistema que sean capaces de trabajar comprensivamente en esta nueva economía, incorporando los aspectos tecnológicos y socioeconómicos del país. La misma debería incluir objetivos que se ajusten a las previsiones de avance de la IoT, entre ellos fortalecer el aprendizaje de matemáticas, ciencias, tecnología e ingeniería (STEM), la práctica de la IoT y el fortalecimiento de la ingeniería de sistemas TIC y gestión de datos.
- Fortalecer al sistema educativo con recursos humanos especializados, plataformas, accesos de banda ancha y terminales personales que permitan digitalizar lo más posible el acceso al conocimiento y la formación, dando un importante soporte a la educación presencial.

- Introducción de especializaciones de alto nivel en IoT y digitalización en general en todas las especialidades, e interacción con el extranjero.
- Definición del alcance de las transformaciones del capital humano requeridas por el país en cuanto a incorporación de las nuevas tecnologías, con estimaciones de plazos de las etapas de su avance.
- Creación de planes educativos que empiecen desde el preescolar y que permitan el egreso, en las diferentes etapas, de personas hábiles para desempeñarse en la nueva economía. Esto sin descuidar que en el proceso educativo se deberá propiciar la preparación para una nueva cultura de trabajo en su sentido más amplio.

3. Revisión de políticas y reglamentaciones relativas a la IoT

Esta revisión es esencial ya que muchas veces existen reglamentaciones o políticas que afectan el desarrollo de la IoT sin estar explícitamente expuestas. La revisión de las políticas y reglamentaciones debería ser proactiva en conjunto con las partes interesadas, a los efectos de reducir plazos y anticipar dificultades en la implantación de la IoT.

Junto a la revisión es recomendable la formulación de políticas de estímulo al desarrollo de la IoT, que entre otras cosas resulte de una posición de colaboración de las empresas para lograr la eficiencia que las beneficie a todas, y sean el resultado de los objetivos económicos nacionales. En este marco es razonable considerar la priorización de determinados verticales: minería, agricultura, etc., como se observa en las Mejores Prácticas. De esta forma es posible concentrar el esfuerzo para obtener resultados que luego se derramarán en otros verticales.

Un ejemplo de esta revisión de regulaciones es la de Neutralidad de Red que se aplica en muchos países, y que podría impedir que el operador provea servicios de acceso prioritarios, o de mejor calidad, para aplicaciones finales que así lo requieren como parte del objetivo del servicio contratado. Por ello sería necesario incluir modificaciones a la normativa de la Neutralidad de Red que pudiera afectar el normal desarrollo comercial, específicamente de la IoT. Una regulación poco adecuada, además de restar valor a la IoT en general, podría generar discriminación entre los operadores que usan espectro licenciado, y los que usan tecnologías propietarias.

Otro ejemplo es el de la regulación de la numeración de identificación de los dispositivos en las redes móviles, asunto analizado extensamente en este documento y especialmente en la sección del "BEREC", la que aborda principalmente a las cuestiones conceptuales a atender.

4. Armonización e interoperabilidad

Los estándares son importantes para la creación de mercados de nuevas tecnologías. En la operación de la IoT hay varias capas de servicios que deberían ser compatibles entre capas similares de diferentes fabricantes u operadores, y compatibles también verticalmente, para evitar las posiciones de dominio y de bloqueo de desarrollo. Es claro el problema de incompatibilidad de los accesos cuando se usan tecnologías propietarias, inclusive cuando se usan topologías centralizadas o descentralizadas, aunque todavía se podría resolver con pasarelas ya a nivel de capa de agregación de datos. También puede haber incompatibilidades en las capas de procesamiento inicial de datos, preselección de datos, almacenamiento, integración, procesamiento, accionamiento de dispositivos, etc. Basta observar los inconvenientes de un cliente que deba cambiar su equipamiento, pero manteniendo el mismo servicio: puede perder sus datos, volver inoperable la aplicación, etc.

Se entiende que los aspectos mencionados son los esenciales en cuanto a interfaces interoperables a través de estándares abiertos. Claramente en este punto reside la posibilidad del desarrollo de ecosistemas expandidos sobre diferentes geografías y fabricantes. Quizás el futuro indique que los

grandes operadores de la Industria 4.0 prefieran abrir la operativa a estos niveles de la arquitectura y competir aguas abajo. Se entiende que si no se logra esta interoperabilidad con estándares abiertos se puede producir la constitución de áreas y silos que aislarán las distintas iniciativas y modelos de negocio, con un perjuicio para las empresas, y principalmente para la sociedad por la pérdida de eficiencia.

La estandarización debe alcanzar no solo la arquitectura y las diferentes capas y sus interfaces, sino también la semántica, taxonomía y vocabulario a los efectos de facilitar el trabajo entre países.

Las autoridades de los países podrían asumir un rol de liderazgo en la promoción de estándares e interoperabilidad en una cantidad de aspectos como los ya mencionados, agregados a los formatos de los datos, mecanismos de seguridad y protección de la privacidad, y otros que se mencionan en estas secciones y que aparte de ser considerados aisladamente deberían además ser evaluados con objetivos de estandarización e interoperabilidad, si es posible con la mayor amplitud geográfica posible regional y global.

Se reconoce que es un tema todavía muy abierto en el mundo, pero que se debería formalizar principalmente a nivel global para que no se produzcan cuellos de botella. Igualmente se reconoce que es un asunto de muy difícil coordinación, al pertenecer en buena medida al ámbito privado de las empresas.

Ya en un sentido donde hay más avance en el mundo, la armonización en el uso del espectro en primer lugar a nivel regional, y en segundo lugar a nivel global, no solamente facilita el desarrollo de aplicaciones transfronterizas de la IoT, sino que tiene un impacto importante en las economías de escala de fabricación de dispositivos y de redes de acceso, con la consecuente reducción de costos, lo cual tiene un importante impacto adicional sobre las aplicaciones masivas.

A nivel más general, se debería fortalecer la creación de, y la participación de los países en, organismos internacionales de normalización de la IoT de forma de poder colaborar de acuerdo con los intereses de cada Gobierno, y al mismo tiempo mantener informado al Think Tank y al Consejo de la evolución de esta tecnología en el mundo.

A nivel mundial, existen organismos entre los que se encuentra, por ejemplo, el "Industrial Internet Consortium"⁹⁵ (IIC) integrado por decenas de empresas líderes vinculadas a la IoT, como son los proveedores de equipamiento, de soluciones, plataformas, etc., así como instituciones académicas y operadores. El IIC es una organización líder en el mundo para la transformación de los negocios y la sociedad acelerando la Internet industrial de las Cosas (IIoT). El IIC provee los estándares para una IIoT confiable en el que los sistemas y dispositivos de alcance mundial estén conectados y controlados de forma segura para ofrecer resultados transformacionales. Es un programa del Object Management Group⁹⁶ (OMG), también constituido por decenas de miembros a nivel mundial.

El IICC anunció el 2 de junio de 2021 la publicación de un extenso documento⁹⁷ sobre los Estándares Mundiales de la Industria para la IIoT para ofrecer orientación a la industria en el desarrollo, adopción y uso de estándares IIoT. El documento técnico describe una visión y una estrategia para permitir la interoperabilidad y la compatibilidad del sistema en todo el ecosistema de IIoT.

La introducción de este documento define claramente su objetivo:

El Internet Industrial de las Cosas (IIoT) es un mundo de objetos conectados en rápida expansión. A medida que proliferan los sistemas IIoT, los algoritmos de aprendizaje automático consumen grandes cantidades de datos y los comparten entre socios, clientes y otros. IIoT es un entorno tecnológico en el que

⁹⁵ <https://www.iiconsortium.org/cgi-bin/iicmembersearch.pl>.

⁹⁶ <https://www.omg.org/cgi-bin/apps/membersearch.pl>.

⁹⁷ https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Global_Standards_Strategy_Whitepaper.pdf.

la integración y la interoperabilidad son capacidades críticas y la complejidad de este entorno hace que esto sea difícil de lograr. Los estándares juegan un papel crítico en el IIoT por cinco razones principales.

En primer lugar, los usuarios y proveedores no pueden diseñar una interfaz personalizada cada vez que los componentes o sistemas necesitan interactuar. Los estándares pueden hacer que esta explosión de interfaces sea manejable; son la lengua franca de la interoperabilidad. Para los proveedores, esto elimina los costos innecesarios relacionados con las capacidades comunes y permite hacer foco en las innovaciones que agregan valor.

En segundo lugar, la tecnología de la información (TI) y la tecnología operativa (OT) deben trabajar juntas para lograr la transformación digital de la empresa, y esto implica que OT ya no puede desplegar islas aisladas de automatización, que a menudo comprenden equipos de unos pocos proveedores, que no se ajustan a los protocolos o formatos de datos utilizados en otros lugares. Para lograr los beneficios de la IIoT, esos entornos ahora están conectados a sistemas empresariales y entre sí a través de Internet y, por lo tanto, deben adherirse a las normas de comunicación, seguridad y datos de la TI.

En tercer lugar, los clientes requieren el cumplimiento de los estándares para evitar el bloqueo del proveedor. Esto crea un entorno competitivo en el que la falta de soporte de las normas (internacional, regional, específico de la industria o de la función) se convierte en una desventaja competitiva. Por el contrario, la participación activa proyecta el liderazgo de pensamiento de un proveedor y aumenta la confianza del cliente.

En cuarto lugar, las agencias reguladoras responden a la necesidad de seguridad y presentación de informes exigiendo el cumplimiento de las normas para que su trabajo de monitoreo y auditoría sea factible.

En quinto lugar, los estándares hacen que las habilidades de los empleados sean portables entre divisiones y empresas, lo que beneficia tanto a la fuerza laboral como a las empresas que las emplean al aplanar la curva de aprendizaje.

Las organizaciones (como los miembros del IIC) deben responder a estos imperativos definiendo una estrategia de estándares y tomando ciertas medidas para ejecutarla. La estrategia podría ser simplemente adoptar e implementar estándares a medida que surgen, pero este compromiso limitado expone a la organización a sorpresas. La participación en organizaciones de elaboración de normas (SDOs) proporciona un mayor control y permite a una organización anticiparse a la aparición de nuevos estándares. Esto requiere un compromiso a todos los niveles y afecta a la organización, sus procesos, diseño de producto y presupuesto.

Este documento examina lo anterior en detalle. Enumera las categorías de normas y las organizaciones que las producen. Establece una visión y una estrategia para impulsar y aprovechar los estándares. Además, proporciona orientación concreta a la industria sobre la ejecución y la gobernanza. En definitiva, este documento cumple las metas del IIC de recomendar clases de estándares a los miembros, influir en el desarrollo de estándares en el interés de nuestra comunidad y demostrar el valor de los estándares al implementarlos en nuestros bancos de pruebas. Alentamos a los miembros de la CII a aplicar esta orientación en el desarrollo, adopción y uso de estándares IIoT, permitiendo la interoperabilidad y la compatibilidad del sistema en todo el ecosistema del IIoT”.

5. Cooperación entre las partes interesadas

La cooperación entre empresas de industrias específicas y principalmente con las de otras industrias (salud, transporte aéreo, transporte terrestre, etc.), así como la cooperación con los proveedores (“vendors”), las instituciones académicas y las organizaciones internacionales es muy importante para el avance profundo de la Industria 4.0. Este concepto se extiende también a los demás sectores de la actividad económica.

La cooperación puede centrarse en el desarrollo de bancos de prueba (“test beds”) para el desarrollo de prototipos para la implementación de nuevas soluciones, o en plataformas para sectores verticales específicos que faciliten su adopción temprana.

En este punto debe ser considerada la posición de las PyMEs que no pueden operar en el mismo campo que las grandes empresas. Estas últimas, debido a su gran capacidad en todos los aspectos, pueden participar en los organismos internacionales de estandarización, y optan en general por los bancos de prueba de soluciones en cooperación con otras grandes empresas. Por ello es importante que en las políticas que se apliquen se les den oportunidades a las PyMEs y Start Up para participar en esta cooperación, y para que luego de ser exitosas puedan expandirse en sus áreas de operación. En el caso de las soluciones de plataformas para industrias específicas, éstas también son útiles para la PyMES y Start Up, las que ven reducido el riesgo de la inversión, se benefician de las sinergias y pueden moverse con cierto nivel de estandarización. El Gobierno, junto a las instituciones internacionales y académicas juegan un papel importante en la orquestación de estos procesos.

Esta cooperación encuentra un papel muy importante en todo lo relativo a Investigación y Desarrollo, entrenamiento y desarrollo profesional, seguridad de los datos, entre otros.

6. IPv6 y sistemas de identificación numérica de los dispositivos

El protocolo IPv6 presenta muchas ventajas sobre el IPv4 para el despliegue de la IoT. En particular, permite disponer de suficientes direcciones IP para la cantidad de dispositivos terminales conectados a la Internet, sin tener necesidad de compartir direcciones IPv4 como puede suceder en países con escaso despliegue IPv6 en los accesos.

Este protocolo permite además otras facilidades útiles para la IoT, como es el multihoming, en que un mismo dispositivo terminal puede mantenerse conectado a más de una red de distinto operador, y en forma simultánea y con balanceo de carga, dando mayor disponibilidad al acceso.

También en este caso, por diversos mecanismos las instituciones gubernamentales pueden ser impulsoras de la migración de los operadores hacia IPv6.

En cuanto a los identificadores empleados por la IoT en las redes públicas, éstos son los códigos numéricos según las normas E164 y E212 (IMSI). A este respecto se ha descrito detalladamente en la sección “BEREC” el alcance y las medidas que se recomiendan tomar con respecto a este asunto.

Debido a los plazos requeridos para el análisis e implementación de regulaciones a este respecto, es recomendable que sea considerado un asunto prioritario.

7. Política de impulso propio gubernamental y de estímulo de la demanda

Las entidades gubernamentales disponen de herramientas que impulsan el despliegue de nuevas tecnologías a través de sus propias instituciones, obviamente sobre la base de un análisis previo de costo beneficio.

Estas acciones, generalmente iniciadas a través de procesos competitivos, impulsan a los operadores actuales, y a los potenciales operadores, a prepararse para ofertar sus servicios enfrentados a casos concretos de negocio, e incluir el despliegue de la IoT en sus planes antes que pasar a través de procesos de validación de casos, pruebas de concepto y otras fases previas habituales antes del despliegue comercial.

La oportunidad de obtener un contrato con el Estado, y exhibirlo como antecedente, es un incentivo adicional para los operadores.

Estos despliegues importantes en el Estado, si son tempranos, permiten observar y tratar las cuestiones relativas a la experticia de la mano de obra en la IoT, así como el grado de preparación del país para estos avances.

El despliegue de la IoT en la creación de ciudades inteligentes genera el estímulo para la creación de empresas especializadas, para la creación de unidades de negocio de IoT en los operadores, la llegada de operadores especializados y para despertar el interés por todos los aspectos relativos a la IoT, incluyendo el aprendizaje.

8. Políticas para la gestión de datos generados en la IoT

Para el desarrollo de estas políticas resulta imprescindible la consideración de la importante evolución de la llamada ciencia de datos como consecuencia de la reducción de costos y del aumento del poder computacional, y que abarca las diversas disciplinas y herramientas para la obtención de conocimiento a través del análisis de los Grandes Datos (Big Data) que, en particular, estarán disponibles como producto de la Internet de las Cosas. La analítica, el “aprendizaje de máquinas” (“Machine Learning”) supervisado o no supervisado, como rama de la inteligencia artificial que permite automatizar el aprendizaje para identificar patrones o predecir resultados, la computación cognitiva, entre otros, son diferentes partes de la ciencia de datos. Se agrega la introducción progresiva de la Cadena de Bloques (“Blockchain”) en la gestión segura de los Grandes Datos que provienen de la Internet de las Cosas.

La política de privacidad debería estar destinada a desarrollar un modelo regulado de uso de datos que surgen de la IoT, que respete la privacidad, pero que al mismo tiempo permita la anonimización y su uso compartido bajo el paraguas de los Grandes Datos y la Analítica, para beneficio de la ciudadanía. De esta manera se atiende la preocupación por el uso de datos sensibles para los usuarios públicos o privados, a través de lineamientos claros y públicos que incluyan su consentimiento, evitando restricciones al desarrollo de la IoT y de los Grandes Datos.

Este asunto es importante para los usuarios individuales debido a que las aplicaciones recogen importante cantidad de información personal y privada como ubicación, costumbres y preferencias, estado de salud, recorridos vehiculares, horarios en que la casa está sin gente, y múltiples más. Esta información requerida por la aplicación puede ser útil a terceros, o para usos ajenos a la aplicación, por lo que este tema es de crucial importancia, en cuanto a su protección tanto para el propio usuario como para el desarrollo de la IoT en general.

El suceso de casos graves de fuga de información puede perjudicar la confianza en estos sistemas y demorar y restringir su desarrollo. Es claro que las aplicaciones (Apps) actuales ya recopilan abundante información personal y en general sin mayores limitaciones al alcance del usuario. Pero en la IoT habrá un mayor volumen y profundidad de la información, y seguramente con muchas menos advertencias previas como sucede con las Apps. Los propios dispositivos pequeños no permiten una interacción confiable con el usuario como para requerir sus permisos específicos como sucede en las pantallas de los UE móviles.

En el campo de las aplicaciones industriales, el sistema completo está bajo un control centralizado y más estricto que en las aplicaciones para los usuarios particulares. En estos casos el usuario podrá limitar el tipo de información a suministrar.

Pero desde otro punto de vista, la excesiva limitación en el tipo y cantidad de información que integraría los Grandes Datos, hace perder a la IoT una externalidad positiva relacionada a la posibilidad de la adopción de políticas guiadas por la Analítica, de procedimientos sanitarios y de varios tipos que mejoren la sociedad, de la gestión del tránsito y otros, a través del análisis de tendencias, perfiles, patrones, etc.

Este último tema es importante en la definición de políticas y regulaciones, principalmente en cuanto a hacer los datos anónimos tan pronto como se pueda desde el terminal de usuario, o desde el primer punto de concentración de información. Desde el punto de vista técnico existen dificultades, debido a la baja capacidad de procesamiento de los terminales, para volver los datos anónimos desde el momento inicial de ingreso al sistema.

Lograr el mayor uso de datos que se recopilen en la IoT y que pasen a integrar los Grandes Datos, debería ser un objetivo gubernamental que permitirá obtener los mayores beneficios para los ciudadanos.

En algunos países las regulaciones de localización física de los datos impiden proveer servicios transfronterizos empleando servidores centralizados, y en particular alojar datos nacionales en el extranjero. Se observa que los dispositivos IoT podrían requerir recoger información en una jurisdicción y procesarla, almacenarla, analizarla y usarla en otras, como sería el caso del transporte en Centro América. Este comportamiento proviene tanto de la operativa en sí, en que hay aplicaciones que lo requieren, como de la búsqueda de la eficiencia y mejoramiento de la calidad de los servicios centralizando la información.

Resultaría necesario considerar la posibilidad de minimizar los requerimientos para que los datos generados, en casos relacionados a aplicaciones que así lo requieran para su operación, sean autorizados a transponer fronteras, incluyendo los casos de servidores centralizados.

9. Políticas de seguridad

La IoT, debido a su despliegue masivo esperado, y al bajo costo de los terminales buscado por los proveedores, presenta un perfil de riesgo en cuanto a recibir ataques. El bajo costo hace inaccesible el empleo de sistemas sofisticados de seguridad a través de encriptado. Las actividades criminales pueden atacar los propios dispositivos, los enlaces de acceso y finalmente atacar los servidores, muchos alojados en la nube. En todos los casos podrían tener acceso a información masiva muy valiosa, o a controles importantes.

Pueden tomar control del sistema de acceso e inclusive podrían atacar directamente una fábrica o un sistema de control de servicios públicos dejándolos inoperativos, distorsionar el funcionamiento de un sistema de atención a la salud, provocar accidentes con autos conectados, entre otros múltiples y graves daños.

Aunque es imposible disponer de una solución que evite cualquier ataque, es posible reducir los riesgos a través del cuidadoso diseño de seguridad de los terminales, hacer circular por las redes de acceso y transporte solamente la información imprescindible, establecer varios niveles de seguridad en el núcleo de la red, reforzar los controles de acceso a los dispositivos, y principalmente diseñar terminales que acepten actualizaciones de software que eliminen vulnerabilidades, principalmente considerando que los dispositivos pueden estar en operación por períodos muy largos y en lugares de difícil acceso.

Las fallas en la seguridad también son un factor negativo para el desarrollo de la IoT, estando la seguridad en manos de los operadores de las redes de acceso y de los centros de procesamiento.

La reglamentación de la resiliencia de las redes IoT podría estar incluida en esta línea de trabajo, la cual también es fundamental para la confianza de los usuarios en la IoT.

10. Think Tank asesor

El Think Tank tiene como objetivo desarrollar actividades prospectivas de investigación y desarrollo acerca de la evolución de la IoT a nivel nacional y global, incluyendo la evolución cuantitativa y cualitativa de las diferentes tecnologías, oferta y demanda por servicios, modelos de negocio y otros aspectos que permitan planificar y desarrollar las acciones. También debería tender a crear una red

internacional que permita el intercambio de información, la investigación y el desarrollo cooperativos. Finalmente contribuir al aumento de las competencias nacionales en líderes de alto nivel en la IoT, por el impacto directo sobre el desarrollo óptimo de la IoT, y porque serán importantes para el trabajo del diseño de los planes educativos.

Debe ser una institución líder en estas tecnologías con amplia participación de las industrias, los trabajadores, el Gobierno, la academia, los proveedores y otras partes interesadas, de forma de asegurar la incorporación de la IoT al sector productivo y a las actividades diarias de los ciudadanos, y asegurar la concientización y la información para explotar esta oportunidad.

Resulta importante considerar la asignación de recursos específicos para I+D en la IoT, incluyendo financiación semilla estatal y de organismos internacionales para empresas que formen parte del ecosistema. El *Think Tank* debería ser el administrador de esos recursos para sus propias actividades, y las que resulten de su planificación, como es, por ejemplo, un plan de aumento de las competencias nacionales a su más alto nivel.

Por ejemplo, en el Reino Unido, el Gobierno prometió en 2019 una inversión específica de hasta £70 millones, a través de su Fondo para el Desafío Estratégico Industrial, para soportar la I+D para la inserción de soluciones de seguridad y protección en los diseños de chips y hardware, enviando el mensaje de la promoción de la "seguridad de diseño" para todos los dispositivos IoT para empresas y personas.

1.1. Gestión del espectro radioeléctrico

El espectro es la base de las redes de acceso, con distintos requerimientos para la IoT en sus diversas versiones. Considerando las incertidumbres para hacer estimaciones iniciales de uso de espectro en el futuro, resultaría conveniente desarrollar una política de "light touch" en cuanto a la atribución de bandas, pero liberalizando su uso en cuanto sea posible para facilitar el despliegue de redes. O sea, observar los requerimientos actuales y sus tendencias en las bandas de espectro actualmente empleadas (licenciadas y no licenciadas), observar qué otras bandas pueden ser atribuidas para estos accesos IoT, y determinar de acuerdo con esos requerimientos las acciones a seguir.

El crecimiento estimado para la IoT es grande, y está compuesto por diferentes modalidades de requerimiento de capacidad de acceso que van desde los sensores de muy bajo tráfico de datos, hasta los dispositivos que requieren transmitir imágenes de alta definición y con muy baja latencia (p.e. en actividades médicas), pasando por dispositivos industriales de mayor consumo de ancho de banda, empleando estos últimos los accesos 5G. Si bien se prevé qué tecnologías serán usadas para cada caso, esto tampoco es algo totalmente definido, como se observa a partir de los usos que están desarrollando los grandes operadores combinando espectro licenciado y tecnologías del 3GPP, con espectro no licenciado y tecnologías propietarias.

Por ello se puede ir considerando que el futuro será de un aumento de uso de espectro en diferentes bandas impulsado por el empleo de la 5G y bajo regímenes de espectro licenciado, no licenciado y combinaciones de ambos. Esto sería una continuación de la situación actual. Podría llegarse también a situaciones formales de asignación de espectro híbrido licenciado con la autorización para extender el servicio al no licenciado con ciertas condiciones.

Es posible que resulte necesario atribuir bandas de espectro para este uso común con imposición de condiciones técnicas y administrativas, pero estando sujeto a no producir interferencias ni solicitar protección frente a otros servicios autorizados de telecomunicaciones de categoría diferente.

Los marcos regulatorios deberían incentivar la eficiencia en el uso del espectro por lo que el análisis de las tendencias del uso de la IoT, junto a otros usos de las comunicaciones móviles o fijas usando las plataformas móviles como ya se analizó en el capítulo II "Caracterización y desarrollo previsible de la 5G.", es fundamental para no atribuir y asignar espectro donde no es necesario.

VII. Sectores con mayor impacto de la IoT en los países de COMTELCA

La identificación de estos sectores, a partir de los cuales se suelen determinar los objetivos estratégicos para el desarrollo de la IoT y el aumento de la productividad y el bienestar en los países, depende de múltiples factores como ser la preponderancia de esos sectores en el país, la competencia internacional y el requerimiento de alcanzar la eficiencia necesaria, su evolución, el interés del desarrollo de determinadas zonas geográficas, y otros.

El procedimiento es generalmente seleccionar unos pocos verticales que son más sensibles a la IoT, y que por esas razones propias de cada país son los más convenientes de impulsar. A partir de esta selección, la institución de gobernanza que impulsa la IoT podrá hacer foco en ellos con sus recursos materiales y humanos.

En esta sección se hará una primera aproximación a aquellos sectores en los que tendría más impacto la IoT.

Se ve por separado la situación de México del resto de los países, y se hace una breve presentación de los sectores que en primera instancia podrían ser objetivo inicial.

A. Distribución del gasto en IoT en México y sectores prioritarios

A los efectos de observar los sectores de mayor impacto de la IoT en México se presenta la distribución consolidada del gasto en IoT, estimado para el año 2022, por grandes verticales⁹⁸.

⁹⁸ Cálculos de Intel con base en IDC para 2022.

Cuadro 8
Distribución consolidada del gasto en IoT en México
(En porcentajes)

Vertical	2022
Construcción	1,18
Consumo	5,94
Industria manufacturera	30,53
Gobiernos central, estatal y local	10,44
Proveedores de salud	6,00
Industria extractiva	8,95
Transporte	7,42
Comercio minorista	6,34
Servicios públicos	7,81
Otros	15,39
TOTAL	100,00

Fuente: Cálculos de Intel con base en IDC para 2022.

Se observa que la industria manufacturera, los gobiernos, la industria extractiva y los servicios públicos son los sectores de mayor gasto en IoT.

El siguiente cuadro del INEGI⁹⁹ presenta la tasa porcentual anual de crecimiento de la Productividad Total de los Factores y contribución al crecimiento económico de México, a partir del valor de producción, por sector de actividad económica.

Cuadro 9
Tasa porcentual anual de crecimiento de la Productividad Total de los Factores en México
(En porcentajes)

Sector	Concepto	1991-2019P
	Total de la economía	-0,34
	Sector primario	0,92
11	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	0,92
	Sector secundario	-0,66
21	Minería	-2,45
22	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final	0,01
23	Construcción	-1,08
31-33	Industrias manufactureras	-0,33
	Sector terciario	-0,27
43-46	Comercio	-1,10
48-49	Transportes, correos y almacenamiento	-1,09
51	Información en medios masivos	2,99
52	Servicios financieros y de seguros	0,54
53-55	Servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles y Corporativos	-0,79
54	Servicios profesionales, científicos y técnicos	-3,90
56	Servicios de apoyo a los negocios y manejo de desechos y servicios de remediación	-1,31

⁹⁹ https://www.inegi.org.mx/temas/ptf/#Informacion_general.

Sector	Concepto	1991-2019P
61	Servicios educativos	-0,96
62	Servicios de salud y de asistencia social	-0,45
71	Servicios de esparcimiento culturales y deportivos, y otros servicios recreativos	-3,21
72	Servicios de alojamiento temporal y de preparación de alimentos y bebidas	-0,20
81	Otros servicios excepto actividades gubernamentales	-1,15
93	Actividades legislativas, gubernamentales, de impartición de justicia y de organismos internacionales y extraterritoriales	-0,70

Fuente: INEGI.

En esta apertura por sectores, la minería, las industrias manufactureras y las actividades gubernamentales han tenido un promedio de crecimiento negativo, en los últimos 20 años y el Sector 22¹⁰⁰ tuvo un crecimiento casi nulo.

A continuación de esta tabla se observan, también en el INEGI, las tasas de crecimiento anual porcentual de la Productividad Total de los Factores y contribución al crecimiento económico de México, a partir del valor de producción, y para el total de la economía. El promedio de crecimiento anual durante los últimos 10 años, 2010 – 2019, es de 0,045%.

Como conclusión se consideran los siguientes sectores de observación¹⁰¹ en cuanto a la definición de priorización para hacer foco con los recursos materiales y humanos de la IoT:

- Automotriz y textil principalmente en las maquilas.
- Minería.
- Ciudades inteligentes.
- Servicios públicos.

B. Distribución del gasto en IoT en los demás países de COMTELCA y sectores prioritarios

La información del gasto desagregado por verticales no se encuentra disponible y las empresas analistas de mercados de la IoT, cuando se refieren a los países que integran COMTELCA efectúan extrapolaciones de los resultados obtenidos en los países más grandes de la región LAC.

Igualmente, tal como se ha mencionado más arriba, se estima que los verticales de las industrias manufacturera y extractiva, los gobiernos y los servicios públicos, luego de los estudios detallados en cada país, serían los principales usuarios de la IoT, debido a la coherencia en el comportamiento de los sectores prioritarios a nivel internacional, y en particular en México.

Se recuerda además que los despliegues actuales se encuentran en etapas tan iniciales que los operadores móviles aún no se encuentran desplegando servicios de IoT en forma autónoma ni en conjunto con integradores.

Por lo anterior, en primera instancia se entiende que los sectores de observación, con distinto grado de importancia de acuerdo con las características de los países, serían los mismos que en México.

¹⁰⁰ Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final.

¹⁰¹ Sectores que se entiende que podrían ser analizados en forma prioritaria debido al interés inicial manifestado por las tasas de despliegue de IoT, y por su carácter estratégico y comparativo con las prioridades en otros países.

- Textil principalmente en las maquilas.
- Minería.
- Ciudades inteligentes. De acuerdo con cada ciudad se pueden desarrollar proyectos enfocados a determinadas zonas o servicios como recolección de residuos o seguridad.
- Servicios públicos. Principalmente en los sistemas de medidores de consumo.
- Energía eléctrica. SIEPAC y su interconexión en cada país.

Bibliografía

- Banco Mundial (2020), Informe sobre el desarrollo mundial 2020: El comercio al servicio del desarrollo en la era de las cadenas de valor mundiales.
- Bergeaud, A., Cette, G. y Lecat, R. (2017), Total Factor Productivity in Advanced Countries: A Longterm Perspective. International Productivity Monitor.
- Björkroth, A. (2021), Measuring the economic impact of IoT.
- Buhr, D. (2017), Social Innovation Policy for Industry 4.0. Friedrich Ebert Stiftung.
- Camacho Castillo, R. (2019), IoT y 5G. Instituto Federal de Telecomunicaciones.
- CEPAL (2020), Transformación Digital para una mejor reconstrucción (post COVID).
- _____ (2019), Desarrollo en transición.
- Comisión Europea. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. (2016), Digitalización de la industria europea. Aprovechar todas las ventajas de un mercado único digital. COM (2016) 180 final Bruselas.
- Edquist, H., Goodridge, P. y Haskel, J. (2019). The Internet of Things and economic growth in a panel of countries. *Economics of Innovation and New Technology*, DOI: 10.1080/10438599.2019.1695941. Ericsson Research, Estocolmo, Suecia; Imperial College Business School, Imperial College, Londres, Reino Unido.
- Espinoza, H., Kling, G., McGroarty, F., O'Mahony, M. y Ziouvelou, X. (2020). Estimating the impact of the Internet of Things on productivity in Europe.
- Estándar TS 103 357. Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones.
- GSMA MIoT. (2016), 3GPP Standards for the Internet-of-Things.
- GSMA. (2018), Fixed Wireless Access: economic potential and best practices.
- GSMA Intelligence. (2019), The contribution of IoT to economic growth.
- Hasan Qaiser, F., Choudhary, A. y Reiner, G. (2020), The impact of Industry 4.0 on the reconciliation of dynamic capabilities: evidence from the European manufacturing industries.
- International Telecommunication Union. Telecommunication Standardization Sector. (2021), Output text of draft Supplement ITU-T Y. Sup-IoT-Eco-Plan "Framework for Internet of Things ecosystem Master Plan" - for agreement SG20-TD2207-R2.

- Lei 14108 da Internet das Coisas. (2020), Congreso de la República Federativa de Brasil.
- Manyika, J., Chui, M., Bisson, P., Woetzel, J., Bughin, J., y Aharon, D. (2015), *The Internet of Things: Mapping the Value Beyond the Hype*. San Francisco: McKinsey Global Institute.
- McKinsey & Company. *Network sharing and 5G: A turning point for lone riders*.
- OEA/Ser.L/XVII.4.2.30 CCP.II-RADIO-30/doc. 4359-1-1/17. (2017), *PROPUESTAS INTERAMERICANAS PARA LA CMR-19*.
- OECD Digital Economy Outlook 2020.
- _____ (2016), "The Internet of Things: Seizing the Benefits and Addressing the Challenges", *OECD Digital Economy Papers*, No. 252, OECD Publishing, Paris.
- _____ (2018), *Medición y aplicaciones del IoT*.
- Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT). UIT. (2015), *Modelo empleado en la "Capacitación de Nivel Avanzado sobre modelización de costos y fijación de precios para los países de Latinoamérica"*.
- Oughton, E., y Frias, Zoraida. (2018), *The cost, coverage and rollout implications of 5G infrastructure in Britain*. *Telecommunications Policy* 42 636–652.
- Oughton, E., Frias, Z., van der Gaast, S. y van der Berg, R. (2019), *Assessing the capacity, coverage and cost of 5G infrastructure strategies: Analysis of the Netherlands*. *Telematics and Informatics* 37 50 - 69
- Qualcomm. (2019), *Private 5G Mobile Networks for Industrial IoT*.
- Presidencia de Brasil (2019). *Decreto N° 9.854*.
- Weil, David N. (2013), *Economic Growth*. Pearson. Pág. 160 y ss.

El concepto de Internet de las cosas abarca una variedad de tecnologías que tienen un profundo impacto económico y social. Su despliegue es dispar en el mundo, lo que supone el riesgo de que aumente la brecha entre países. Es esencial conocer estas tecnologías, su despliegue actual y sus tendencias para estimar cuantitativa y cualitativamente su impacto, algo fundamental para la formulación de políticas de índole transversal y múltiple.

En este documento, orientado a los países de la Comisión Técnica Regional de Telecomunicaciones de Centroamérica (COMTELCA), se desarrollan los conceptos básicos sobre la Internet de las cosas y sobre la quinta generación de redes móviles (5G). Se presentan los resultados cuantitativos de la investigación sobre el despliegue actual en los países de la COMTELCA, desagregados por las dos principales familias tecnológicas: propietarias y de 3GPP. A partir de estos resultados y de los estudios más recientes en el ámbito académico, se estima el impacto económico del despliegue de estas tecnologías. Se presenta también un análisis cualitativo y cuantitativo estimado de sus efectos en la sociedad.

Sobre la base de estos estudios, de las mejores prácticas de los países y organismos internacionales, se presenta una propuesta de políticas y reglamentaciones para impulsar el desarrollo de la Internet de las cosas.

