

Análisis del impacto de la tecnología 5G en la industria y la sociedad.

Jose Luis Cuevas Ruíz

Centro de Estudios

Diciembre 2021

El estudio presenta una recopilación de las características técnicas y funcionales de las redes 5G, presentado además el impacto de esta tecnología en diversos sectores productivos, describiendo como las tecnologías involucradas en la 5G provocarán una evolución en su concepción y funcionamiento. Así mismo se presenta un análisis de las estimaciones económicas en sectores que se consideran de relevancia, incluido el impacto que se tendría para nuestro país.

Análisis del impacto de la tecnología 5G en la industria y la sociedad.

Jose Luis Cuevas Ruíz¹

Resumen del trabajo

El presente estudio presenta un panorama de las condiciones técnicas y operativas que caracterizan a los sistemas 5G, pormenorizando las capacidades técnicas y comparándolas con las generaciones de comunicaciones móviles previas, destacando sus principales diferencias y el carácter disruptivo de esta generación de comunicaciones móviles.

Se presenta una descripción de la manera en que las tecnologías involucradas en la plataforma 5G impulsaría la transformación y evolución de algunos sectores productivos, citando algunas aplicaciones y usos que ya se están presentando en la actualidad. Así mismo se presenta la estimación del impacto que la tecnología 5G tendrá en la economía para algunos sectores, basándose en el potencial impacto en el PIB de algunos países, incluyendo el impacto para la región de Latinoamérica (LATAM), presentando así mismo el impacto de la tecnología en el PIB de México para el 2030.

¹ Doctor en Teoría de la Señal y Comunicaciones por la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC. Barcelona, España. Maestría en Ciencias por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo, CENIDET. México. Actualmente es Investigador en el Centro de Estudios del IFT. Colaboró con la SCT en la dirección de Comunicaciones Rurales, es catedrático en el área de Telecomunicaciones y Electrónica, con Amplia Experiencia en evaluación y diseño de redes de Telecomunicaciones fijas y móviles. Tiene experiencia como consultor en TICs por más de 15 años, participando en Proyectos Tecnológicos Nacionales y Extranjeros.

I. Introducción

La Ley de Moore, emitida en 1967 por Gordon Moore, establece que la tecnología electrónica duplicaría su potencia cada 18 meses (duplicando el número de transistores encapsulados en un circuito integrado), reduciendo al mismo tiempo su precio. Al respecto, un caso particular de la empresa Intel permite dimensionar de manera clara el significado de esta Ley: la empresa lanzó en 1971 el CI Intel 4004, interconectando 2300 transistores en el interior del circuito integrado. Para el año 2015, la compañía ya tenía la capacidad de encapsular en la misma superficie del chip mencionado cerca de 7400 millones de transistores [Ignacio Mártil, (2019)]. Mas recientemente la empresa Cerebras anunció un procesador que será usado para aplicaciones de inteligencia artificial, señalando que en un área de 46.225 mm² se interconectan un total de 1.2 trillones de transistores. Estas grandes escalas de integración descritas se traducen en una mayor capacidad (cantidad y velocidad) de procesamiento, en espacios sumamente reducidos, lo que ha posibilitado contar con dispositivos portátiles con dimensiones cada vez más reducidas, habilitando servicios con mejores condiciones de conectividad, servicios multimedia, velocidades de respuesta, consumo de energía, entre algunas otras facilidades.

Este incremento en las capacidades de la microelectrónica, de la mano con avances en la ciencia de materiales, el desarrollo de nuevas capacidades computacionales como la inteligencia artificial y el cómputo cuántico, las tecnologías en la nube, etc., han potenciado una inercia de innovación tecnológica en el campo de la computación. Adicionalmente, si a esta gran capacidad de cómputo se le adicionan los beneficios que brindan las tecnologías de telecomunicaciones actuales, se podrán llevar estas grandes capacidades de procesamiento a cualquier punto conectado a una red de telecomunicaciones. La tendencia hoy en día es llevar la capacidad de procesamiento computacional y las nuevas alternativas de almacenamiento de la información a cualquier lugar donde se le requiera. A este respecto, ya en 1993, el entonces CEO de Google Eric Schmidt, estableció que “cuando la red sea tan rápida como la velocidad de procesamiento, las computadoras desaparecerán y se dispersarán por la red”.

La quinta generación de comunicaciones móviles, 5G, ofrece recursos y alternativas que permiten dar un gran paso hacia el escenario descrito por Schmidt, proporcionando velocidades de transmisión y valores de latencias nunca antes alcanzadas. Adicional a lo mencionado, es de relevancia señalar que esta generación de comunicaciones móviles también ofrece la posibilidad de incrementar la densidad de usuarios sin decrementar la calidad de las conexiones, con niveles de seguridad y confiabilidad sin precedentes.

Lo anteriormente descrito, en combinación con tecnologías como inteligencia artificial, cómputo en la nube, algoritmos de ciencia de datos, en muchas otras, están dando forma a un cambio disruptivo que cambiará la forma en que se llevan a cabo los procesos en sectores industriales y muchas otras actividades de la sociedad.

El objetivo del estudio es analizar el potencial impacto de la tecnología 5G en sectores como la industria, servicios públicos y privados, hogar, educación, salud, entre otros, evaluando la mejora en la eficiencia en la operación y gestión de las actividades en los sectores mencionados al hacer uso de las prestaciones que la tecnología 5G proporciona. Asimismo, se analizarán algunos casos de éxito, barreras para el desarrollo, así como oportunidades de despliegue para nuestra sociedad.

El documento está estructurado de la siguiente manera: en la sección II se presenta una introducción a la evolución que las TICs y las comunicaciones móviles han tenido a lo largo de la historia, señalando el papel en la innovación y el desarrollo en algunas industrias, así como comparando la tecnología 5G con las generaciones predecesoras. Al final de la sección se analizan algunas consideraciones para el despliegue de estas redes.

En la sección III se describe el modelo conceptual de 5G, describiendo los servicios genéricos de esta tecnología, así como los habilitadores que permiten el desarrollo de nuevas aplicaciones. Se detallan las capacidades de cada uno de los elementos señalados, describiendo algunas de aplicaciones y usos. En la sección IV se describe la evolución del impacto que puede tener la tecnología 5G en algunos sectores productivos desde el punto de vista tecnológico. Las prestaciones que ofrece 5G permite analizar la evolución que pueden sufrir los sectores analizados. En la sección V se compilan algunos datos que permiten cuantificar el impacto de la tecnología 5G en 5 sectores productivos, de acuerdo con un estudio de la consultora PwC. De estos datos se hacen algunas estimaciones para estos mismos sectores para el caso de México. En la sección VI se dan algunas conclusiones y recomendaciones generales.

II. Tecnología de Información y Comunicaciones (TICs) e Industria

II.1 Evolución de las comunicaciones móviles

Las comunicaciones inalámbricas poseen la ventaja de proveer movilidad al usuario, brindando cobertura sin la necesidad de cableado. Al mismo tiempo, a lo largo de la historia, estas comunicaciones móviles han presentado cada vez nuevos retos, relacionados con las bandas de transmisión, velocidades en las conexiones, latencias, consumo energético, etc.

El desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones que operan haciendo uso de las redes de comunicaciones móviles han impulsado un proceso de evolución, donde se busca de manera permanente mejoras en los parámetros mencionados; básicamente las mejoras se enfocaban en la obtención de redes que ofrecieran una mayor velocidad.

Sin embargo, a partir del desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios, factores como la latencia, seguridad, confiabilidad, consumo de energía, etc., tomaron una mayor relevancia. En este proceso de evolución han surgido las diferentes generaciones de comunicaciones móviles conocidas como 1G, 2G, 3G, etc., identificando a cada una de ellas con algunos de los factores mencionados. Esto es, cada generación tecnológica garantiza determinados valores de velocidad de transmisión, tipos de servicios que brinda (relacionado con la capacidad de cómputo del equipo móvil), así como las características de conectividad, entre algunos otros. Las mejoras indicadas en cada una de las generaciones guardan una relación directa con las mejoras en las capacidades de cómputo descritas en párrafos previos. En el Cuadro 1 se pueden ver algunas de las características generales que definen a los principales estándares que han identificado a cada una de las generaciones de comunicaciones móviles predecesoras de las redes 5G.

El caso de la primera generación no se indica, debido a que básicamente la naturaleza de estos sistemas era completamente analógica.

De manera general podemos establecer que 2G permitió las comunicaciones digitales de voz, 3G habilitó voz y datos, mientras que 4G permitió la integración de voz, datos y aplicaciones (incluido contenido multimedia). La pregunta ahora es ¿qué adiciona 5G a este contexto? La respuesta no es simple y puede ser formulada desde distintas visiones.

Cuadro 1. Generaciones de comunicaciones móviles. [Osseiran (2016)].

	GSM (2G)	CDMA (3G)	LTE (4G)	5G
Lanzamiento	1990	2001	2010	2020
Características	Sistema digital. Provee servicios de voz y datos.	Mejora la velocidad de su predecesor, brindando mayor ancho de banda, servicio de email.	Capacidad multimedia, mayor movilidad y acceso a internet de banda ancha.	Servicios interactivos multimedia, internet de alta velocidad, grandes capacidades de procesamiento.
Ancho de banda	200 KHz	5 MHz	20 MHz	Hasta 100 MHz
Velocidad de transmisión	14. 4 Kbps	3.1 Mbps	100 Mbps	20 Gbps-100 Gbps
Latencia	700 ms	<200 ms	< 30 ms	~ 1 ms
Técnica de modulación	GMSK	QPSK, 16 QAM	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	256 QAM

Análisis del impacto de la tecnología 5G en la industria y la sociedad

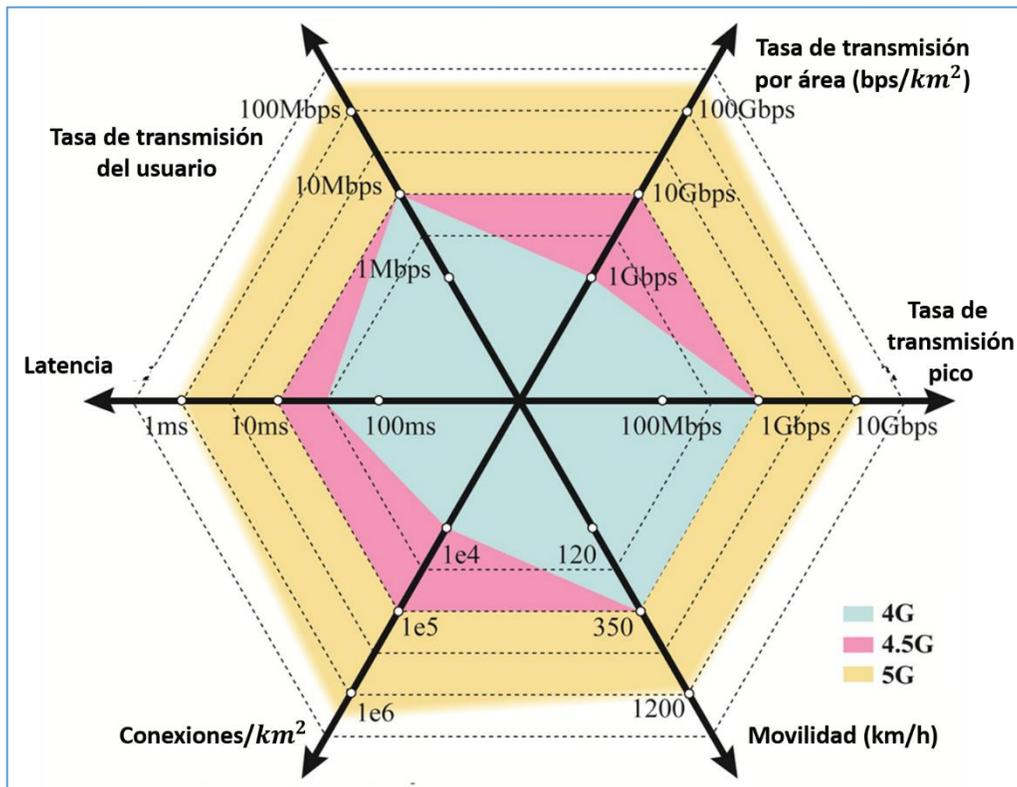
Aplicaciones	Voz y datos a bajas velocidades	Acceso a cierto contenido multimedia	Aplicaciones con requerimientos de grandes velocidades, diversidad de dispositivos portátiles (wearables)	Comunicaciones M2M, D2D, IoT, video/juegos interactivos, realidad virtual, sistemas basados en la nube, y gran diversidad de tecnologías computacionales.
Multiplexión	TDMA	W-CDMA	OFDMA y MIMO	OFDMA, NOMA, FBMC y MIMO Masivo
Estándares	GSM, EDGE, GPRS	UMTS, CDMA 2000, HSPA, EVDO	LTE Advanced, IEEE802.16 (Wimax)	CDMA, BDMA
Conmutación	Circuitos/paquetes	Paquetes	Paquetes	Paquetes
Handover	Horizontal	Horizontal	Horizontal/vertical	Horizontal/vertical
Núcleo de red	PSTN	Rede de paquetes	Internet	Internet

En la actualidad, los sistemas de comunicación móviles son una parte esencial de nuestra infraestructura social, movilizandona nuestra vida cotidiana y brindando además facilidades a una gran diversidad de actividades relacionadas con la economía digital. 5G pretende expandir y fortalecer la experiencia del usuario, empoderando principalmente a las industrias por medio de la incorporación de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) a sus procesos productivos y de gestión. En este entorno, la plataforma 5G brinda condiciones técnicas idóneas para el desarrollo del internet de las cosas (IoT) y la inteligencia artificial, que se constituyen como elementos tecnológicos para el desarrollo de lo que se ha denominado la cuarta revolución industrial.

El carácter disruptivo de 5G en la industria se puede abordar, según Schwab, en el hecho de que, gracias al uso de las tecnologías actuales involucradas en los sistemas 5G, una unidad de riqueza pueda crearse el día de hoy con muchos menos trabajadores que hace 10 o 15 años, debido principalmente a que en los negocios digitales los costos marginales tienden a cero [Klaus Schwab (2016)]. En este contexto, en esta era digital muchas empresas proveen bienes de información con costos de almacenamiento, transporte y replicación que son prácticamente nulos. Si bien 5G provee mejoras en las condiciones de comunicaciones de los usuarios de teléfonos inteligentes, el impacto mayor se verá en el sector productivo, debido principalmente a los recursos, flexibilidad y tecnología que la plataforma 5G posibilita. En la Gráfica 1 se muestra un comparativo de las características que ofrece 5G en comparación con su predecesor.

Adicional a los parámetros indicados en la Gráfica 1, la definición de indicadores de consumo de energía (bits/Joule), así como la confiabilidad de la red se vuelven de especial relevancia para evaluar el rendimiento y la eficiencia de productos y servicios.

Gráfica 1. 5G versus 4G. [Osseiran (2016)].



Al mismo tiempo, las prestaciones y facilidades que ofrece 5G demandan nuevas capacidades para estos sistemas, respecto a las que se establecían para su antecesor 4G LTE Release 10². Inicialmente podemos mencionar el tema del espectro, que para el caso de las IMT de las generaciones previas se ha enfocado en bandas por debajo de los 3GHz. Debido a la demanda de una alta densidad de conexiones por unidad de área, las bandas medias (de 3 a 6 GHz) y superiores (arriba de 6 GHz) se han identificado como viables. Con esta diversidad de bandas de frecuencia disponibles para la implementación de enlaces 5G se pretende dar alternativas de solución referente a la capacidad de los canales, así como a las condiciones de transmisión y cobertura. La eficiencia espectral presentará también retos y condiciones que deberán ser atendidas, aprovechando en el diseño de los sistemas recursos como el uso de antenas MIMO³, el uso de bandas milimétricas, esquemas de codificación y modulación más eficientes, nuevas estrategias de mitigación de interferencias y gestión de la movilidad, entre otras.

² <https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/97-lte-advanced>

³ Multiple input, multiple output

112 Industria y TICs

Las TICs surgen en el siglo XX como producto de la convergencia y consolidación de las industrias de las telecomunicaciones y a computación. Esta tendencia se consolida a partir de la convergencia de las telecomunicaciones y el internet, ha ocasionado un gran cambio en la manera en que la información es distribuida y puesta a disposición de los usuarios finales. La adopción masiva de dispositivos móviles está generando cambios profundos en la sociedad, con repercusiones en el ámbito económico, cultural y tecnológico. Este proceso de evolución nos llevará a una etapa de maduración del sector de las TICs, en el que surgirá un marco para la provisión de servicios en una gran diversidad de escenarios, demandando diferentes condiciones para su operación, incluyendo la configuración de aplicaciones particulares desde y hacia plataformas por medio del Internet, incorporando el internet de las cosas (IoT) (definido de manera general también como Internet de Todo (IoE)).

El nuevo escenario de equipos, unidades y objetos interconectados y con acceso a internet, aunado a esquemas mejorados de seguridad y movilidad, está dando forma a lo que se ha denominado la cuarta Revolución Industrial. La primera revolución industrial tuvo como sustento principal la máquina de vapor, que permitió una evolución en la economía agraria en la Inglaterra del siglo XVIII. La segunda etapa se caracterizó por la electrificación de la industria y la implementación de producción en línea, generando incrementos en los volúmenes de producción de bienes. La producción en línea dividió el trabajo en actividades especializadas, impulsando el desarrollo de industrias como la automotriz. En la tercera etapa la electrónica y las tecnologías de información tuvieron un papel relevante, de manera particular con la introducción de los Controladores Lógicos Programables (PLCs), que posibilitó la automatización de los procesos de producción y un incremento en la productividad.

La cuarta revolución industrial está dando forma a un escenario donde las comunicaciones móviles habilitan la comunicación entre máquinas y objetos, sin la intervención humana, permitiendo llevar la automatización a un siguiente nivel. En esta línea, se espera que 5G sea la plataforma que provea los medios necesarios que permita la consolidación de esta cuarta revolución. De manera específica, podemos decir que 5G permitirá:

- Conectividad como un estándar para personas y objetos
- Conectividad crítica y masiva para maquinaria
- Uso de nuevas bandas del espectro, así como nuevos marcos regulatorios
- Movilidad y seguridad como parte de las funciones de la red
- Distribución de contenidos vía internet
- Procesamiento y almacenamiento en el borde (Edge) de la red
- Redes definidas por software y virtualización

Una de las principales prestaciones que 5G ofrece es lo que se denomina Banda Ancha Móvil Extrema o mejorada (xMBB). La xMBB establece las condiciones técnicas para satisfacer la gran demanda de altas velocidades de transmisión (del orden de los Gbps) de grandes volúmenes de información que servicios como la distribución de video de alta definición y aplicaciones de realidad aumentada generarán. 5G permitirá que las redes inalámbricas alcancen las velocidades que actualmente son alcanzadas por medio de enlaces de fibra óptica.

El desarrollo de redes de IoT, de sistemas ciber-físicos (CPS) y de comunicaciones máquina a máquina (M2M) se han posicionado como claves en el desarrollo de las TICs de cara a las aplicaciones y usos industriales. La posibilidad de que cada objeto pueda ser comunicado e identificado de manera unívoca de manera inalámbrica por medio del internet posibilita una gran cantidad de aplicaciones y usos. La integración de la computación y procesos físicos por medio de redes inalámbricas permite que cualquier proceso físico pueda ser observado, monitoreado, controlado y automatizado.

Los procesadores digitales han sido incorporados a casi todos los niveles en los sistemas industriales (a estos sistemas se les conoce como sistemas embebidos). Con la adición de nuevas capacidades de interconexión ofertadas por redes de 4Gy 5G se posibilita la capacidad de llevar la observación y control de los procesos industriales de un contexto local a prácticamente global. Un proceso que se está desarrollando en determinada localización geográfica puede ser monitoreado/controlado desde un punto situado a kilómetros de distancia.

113 TICs y las actividades económicas

En contraste con las generaciones de comunicaciones móviles previas, uno de los principales objetivos de los sistemas 5G es satisfacer las demandas actuales y futuras de tráfico estimadas para las diferentes aplicaciones, así como brindar alternativas de solución a las necesidades de comunicación y conectividad a los diferentes sectores de la economía, incluyendo el desarrollo de aplicaciones verticales⁴ en la industria. Las comunicaciones inalámbricas se han consolidado de manera importante en muchas de estas industrias, formando parte esencial de las mismas. En los siguientes años, la conectividad inalámbrica dejará ser solo una característica más de los servicios, para consolidarse como un elemento fundamental para una gran gama de aplicaciones en la industria.

El uso de las comunicaciones inalámbricas ha sido impulsado por el creciente valor que la información y los datos han tomado para la generación de conocimiento e información útil que posibilita inteligencia de negocios, mejoras sustanciales en muchos de los servicios y productos, así como el desarrollo de nuevos modelos de negocio. Las redes de sensores, dispositivos y objetos conectados que proporciona una enorme cantidad de datos a bajos costos, han acelerado algunas estrategias de

⁴ Asignación de recursos, (infraestructura, espectro, etc.) para el desarrollo de servicios en cierta zona geográfica o en un sector particular.

mejora en los procesos productivos, proporcionando una mayor eficiencia, y contribuyendo al incremento a los niveles de producción previos. Esta gran cantidad de información disponible contribuye de manera relevante a la integración de conocimiento, y este conocimiento se vuelve a su vez en información útil que posibilita el desarrollo de diferentes niveles de inteligencia de negocios. La disponibilidad de esta gran cantidad de información permite que sistemas que hacen uso de métodos de analítica de datos avanzada, como *Machine* o *Deep Learning*, genere nueva información que permite mejorar/actualizar el proceso que procesa que ejecuta. Esta combinación de algoritmos complejos ejecutados de manera local por los procesadores embebidos en las máquinas junto con la información que recibe ha permitido el desarrollo de autómatas que pueden tener la capacidad de tomar decisiones, tal como lo haría una persona, haciendo los procesos más eficientes. Esto es lo que se ha definido como inteligencia artificial⁵. Al final se espera que los datos generados por todos los dispositivos conectados, permitirá una reducción de los costos de los servicios proporcionados, marcando la ruta que permita acelerar en las sociedades eficiencias en las actividades productivas nunca antes alcanzadas. Recientemente la firma John Deere presentó un tractor que puede ser operado desde un teléfono inteligente, por medio de una aplicación, sin la necesidad de que haya intervención humana alguna. El tractor hace uso de información obtenida vía GPS (*Global Position System*), así como algoritmos de inteligencia artificial para la preparación del terreno y la siembra, de acuerdo con las condiciones del medio⁶.

Se estima que mejoras en la conectividad de banda ancha móvil generará una cascada de beneficios secundarios en la economía, generando beneficios y un incremento en el nivel de vida de las personas. El impacto de tecnologías como las redes 5G será totalmente transversal, y de manera general se enlistan algunos de los sectores económicos donde esta tecnología jugará un papel relevante en su desarrollo:

- Agricultura. Los sensores y actuadores instalados en los campos de cultivo permitirán medir y enviar información respecto a las condiciones del terreno. Información como la calidad de la tierra de cultivo, humedad, temperatura, condiciones del viento, existencia de plagas, etc., es información que permitirá una mejor gestión de las cosechas, permitiendo monitorear desde el proceso de preparación del terreno, hasta la distribución de productos cosechados.
- Industria del automóvil. La transportación inteligente, permitiendo la comunicación vehículo-vehículo y vehículo-infraestructura permitirá el desarrollo de medios de transportación más eficientes, proveyendo información relacionada con tráfico, accidentes, prevención de colisiones, etc., así como también el desarrollo de usos comerciales relacionados con la entrega y distribución de bienes.

⁵ <https://www.iberdrola.com/innovacion/que-es-inteligencia-artificial>

⁶ [John Deere mostró un tractor autónomo y postuló a la tecnología como medio para aumentar la producción de alimentos - Convergencia Latina](#)

- Industria de la construcción. Las edificaciones serán construidas integrando en la misma estructura sensores, actuadores, antenas y dispositivos que permitan monitorear y eficientar el consumo energético, seguridad, localización y nivel de ocupación, etc. Por ejemplo, en caso de siniestros como un sismo, una evaluación del daño estructural de la edificación podría obtenerse de manera inmediata.
- Energía/*Utilities*. El concepto de Smart Grid⁷ está impactando a toda la cadena de valor desde la generación y hasta el consumo de energía eléctrica. Se espera que, en un futuro cercano, donde los usuarios también sean generadores de energía, la coordinación entre la demanda y oferta deberá ser coordinada, promoviendo con esto el desarrollo de energías sustentables.
- Finanzas. Operaciones bancarias, transferencias y compras serán llevadas a cabo haciendo uso de comunicaciones inalámbricas. Como consecuencia de esto, la seguridad, detección de fraudes y el desarrollo de análisis del tráfico se vuelven tópicos de especial relevancia.
- Salud. Las aplicaciones relativas al campo de la salud muestran una gran diversidad en su complejidad y variedad. Estas pueden incluir desde el monitoreo de ejercicio y actividad física, hasta el monitoreo de las condiciones de salud de un paciente, alertas médicas, y atención médica remota, incluyendo tratamientos y procedimientos quirúrgicos.
- Manufactura. Existe una gran cantidad de procesos y tareas relacionadas con los procesos de producción que pueden implementarse de una manera mas eficiente, confiable y precisa por medio de comunicaciones inalámbricas. El uso de 5G es clave para la implementación de operaciones con altos niveles de confiabilidad, bajos tiempo de respuesta (bajas latencias) son elementos esenciales en muchas de las celdas de manufactura que operan hoy en día. Así mismo, con la continua adhesión de robots autónomos, sensores a lo largo de toda la línea de producción, maquinaria inteligente, etc., las redes masivas serán una realidad.
- Contenido multimedia. El video es el elemento clave a considerar para evaluar el consumo del ancho de banda y se espera que 5G posibilitará una excelente experiencia para el usuario cuando consuma video en 3D y 4K en gran escala. Así mismo, cuando la demanda de servicios de realidad virtual (VR) o realidad aumentada (AR) se consolide, las demandas de ancho de banda y condiciones de latencia se consolidarán. Las prestaciones de xMBB en las plataformas de 5G proveen condiciones para satisfacer esta demanda.
- Seguridad Pública. La policía, bomberos, equipos de rescate y servicios de médicos de emergencia y todos los relacionados requieren de un elevado nivel de confiabilidad y

⁷Red formada por controles, computadoras, sistemas de automatización y nuevas tecnologías que integradas a la red eléctrica permiten responder de manera instantánea a cambios en las condiciones de la demanda del suministro eléctrico.

disponibilidad. Combate a desastres naturales por medio de vehículos autónomos, rescate de sobrevivientes, evaluación de daños, etc.

- Consumo minorista y servicios. La comercialización de productos de consumo minorista incluyendo su distribución y entrega, así como servicios de viajes y actividades de ocio, incluyendo servicios de hospedaje serán potenciados por el uso de plataformas 5G.
- Transporte. 5G posibilitará mejoras en la infraestructura y comunicaciones relacionados con servicios de transporte de pasajeros por tren, gestión y desarrollo de nuevas alternativas de transporte público, así como en la logística necesaria para el transporte de bienes vía terrestre y marítima.

Este efecto disruptivo de las redes 5G se basa en 3 factores principales:

- Las **menores latencias** ofertados por las redes 5G (~1 ms) posibilitan una mayor velocidad de transmisión de grandes cantidades de datos.
- Las redes y dispositivos 5G son más **confiables**, posibilitando obtener mejores calidades en las comunicaciones, aún en condiciones extremas.
- La **flexibilidad** de las redes 5G permite que una gran variedad de dispositivos se integren a estas (sensores, dispositivos, accesorios, equipos, etc.).

La disrupción que las redes 5G ofrece puede analizarse desde el impacto que las prestaciones mencionadas tienen en el sector productivo. Independientemente de que como usuario final se puede acceder a mejores condiciones de comunicaciones, así como contar con productos y servicios de mejor calidad, la relevancia se presenta en los potenciales avances que se pueden presentar en la industria. 5G permite ampliar el concepto de las comunicaciones basadas en las necesidades de las personas (*human centric communications*), generando un ecosistema que considera tanto a las comunicaciones basadas en las necesidades de las personas, como a las comunicaciones centradas en las máquinas u objetos (*machine centric communications*). Las comunicaciones móviles inalámbricas serán el principal medio para acceder a la información y a los servicios, tanto para personas como para máquinas. Esto llevará a cambios socio-económicos cuyos alcances hoy mismo no es sencillo vislumbrar, que pueden lograr mejoras en la productividad, sustentabilidad, entretenimiento y bienestar.

Para lograrlo, las redes 5G ofrecen capacidades que las generaciones previas no consideraron. Entre estas se puede mencionar la enorme flexibilidad de la plataforma, con mayores capacidades de integración, no solo en las redes de radio de acceso (RAN por sus siglas en inglés), sino también en el núcleo de la red, así como también en las capas de transporte y aplicación. Las potencialidades que esto ofrece pueden incluir no solo una mejora sustancial de los procesos y servicios actuales, sino una reconfiguración de la arquitectura de las redes actuales.

||4 5G. Despliegue

Uno de los principales retos para las redes de telecomunicaciones móviles es el desarrollo y fortalecimiento de la infraestructura necesaria. No es tarea sencilla dimensionar el impacto de lo que la tecnología 5G pudiera representar para los diferentes sectores cuando aun existen retos relacionados con la cobertura de los servicios móviles en las redes actuales. Así mismo, no es suficiente solo pensar en cobertura, sino además considerar que el incremento en el uso de aplicaciones y servicios basados en plataformas 5G demandará una mayor capacidad y cantidad de las redes troncales que intercomunican a estas redes, tradicionalmente por medio del tendido de enlaces de fibra óptica. Al mismo tiempo que esta mayor capacidad de las redes troncales se presenta como una condición necesaria para la operación de una red 5G, las frecuencias de transmisión y las tecnologías involucradas en esta generación de comunicaciones móviles permiten considerar también el desarrollo de redes troncales inalámbricas (*backhaul móvil, MBH*)⁸.

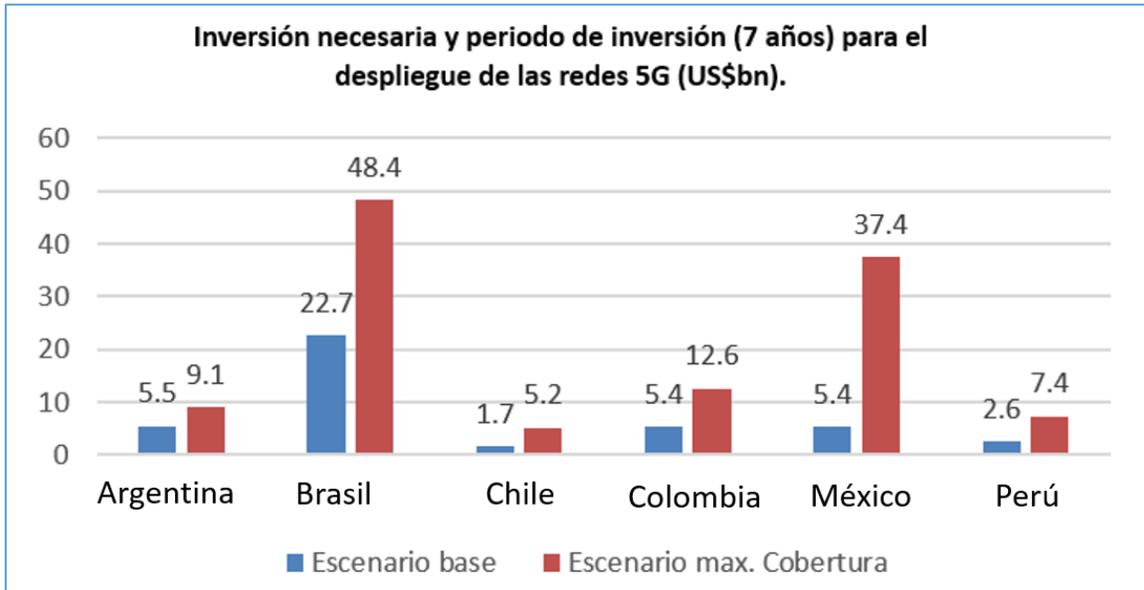
La mayor densidad de usuarios por área también demandará una mayor cantidad de radio bases (se estima que pudieran ser necesarias desde 3 hasta 10 veces mas radio bases que las generaciones previas). Sin embargo, se debe llevar a cabo un análisis mas profundo en el modelo de viabilidad antes de asumir que por este hecho los costos serán mayores. Los modelos de negocio de las redes de comunicaciones móviles previas consideraban solamente la utilidad por usuario que la red pudiera cubrir, y la aplicaciones y usos en los sectores productivos podrían tener menor relevancia en este análisis de viabilidad. Este panorama cambia completamente para el caso de las plataformas 5G, ya que se espera que el impacto en los sectores productivos sea de mucha mayor relevancia.

En este proceso de despliegue, PwC menciona que para algunos países en Latinoamérica en 7 años las redes pudieran presentar un grado de consolidación que permitiría aspirar a materializar los beneficios estimados en párrafos previos. La misma consultora estima el monto de la inversión necesaria en este mismo periodo. Gráfica 2.

⁸

https://www.ciena.com.mx/insights/articles/Why-5G-Will-Change-Everything-About-The-Network_prx_es_MX.html

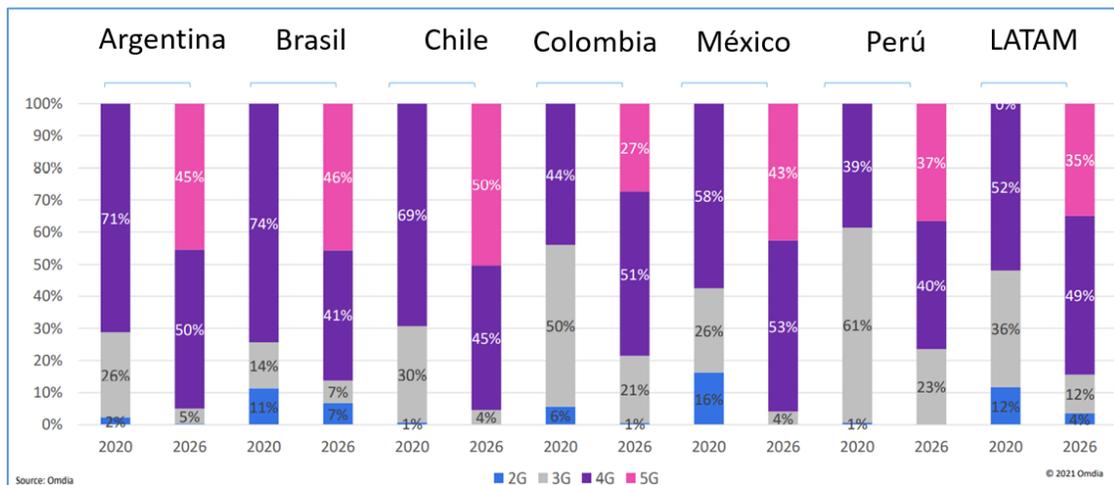
Gráfica 2. Inversión y tiempo necesario para el despliegue de las redes 5G (PwC).



Los recursos y tiempo necesarios para el despliegue de las redes 5G depende de muchos factores, entre los que se pueden mencionar el nivel de cobertura actual, la capacidad de las redes troncales instaladas, la cantidad de espectro disponible, la regulación en cada país, entre algunos otros.

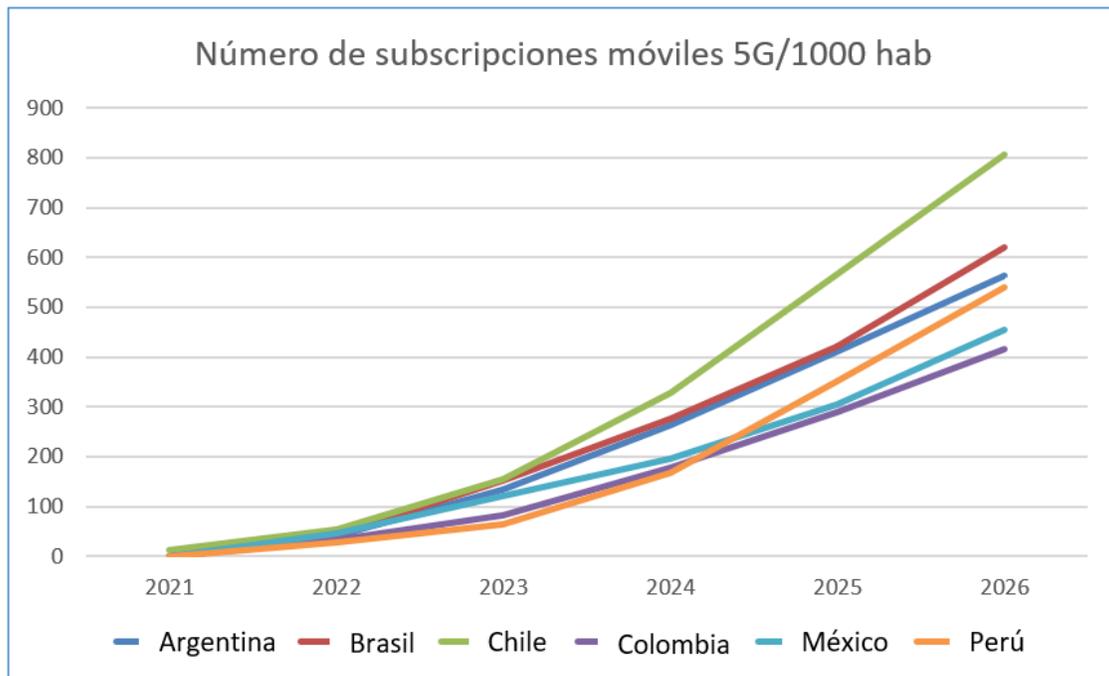
Por su parte, OMDIA elaboró una estimación del desarrollo potencial de suscriptores de 5G, y de las generaciones que le preceden hacia el 2026. Esta estimación se presenta en la Gráfica 3.

Gráfica 3. Evolución de suscriptores de 5G. LATAM (OMDIA).



Una mejor idea de la penetración que las redes 5G pudieran presentar se obtiene al estimar el número de suscriptores por cada 1000 habitantes (Gráfica 4). Ahora bien, es importante resaltar que la viabilidad de las redes 5G consideran en mayor medida las aplicaciones y usos industriales, que los datos relaciones con el número de suscriptores a un plan de servicio de voz y datos 5G.

Gráfica 4. Suscriptores 5G/1000 hab. (Elaboración propia con datos de OMDIA).



En relación con los posibles obstáculos que el desarrollo y penetración de las redes 5G se establece que en primer lugar estas dependerán de las condiciones actuales de cada país. Consideraciones como la infraestructura actual, regulación vigente, costo y disponibilidad de espectro y tasas impositivas al sector deberán analizarse.

De acuerdo con un reporte de la consultora inglesa Webb Search y la empresa Ericsson [Webb Search. (2019)], los principales factores que obstaculizan el desarrollo de las redes 5G para países de LATAM se pueden agrupar en 4 categorías:

- Temas administrativos. En general se menciona que la existencia de diferentes regulaciones locales para el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones dificulta su desarrollo, teniendo que atender requerimiento de diversos organismos y oficinas gubernamentales. La falta de claridad y continuidad de las políticas en este aspecto representa un serio tema a resolver.

- Medio ambiente. Las consideraciones relacionadas con restricciones al uso de suelo se constituyen como otro obstáculo de relevancia.
- Tecnología. Los impuestos a las tecnologías, costos de licencia y/o costo del espectro representa también otro obstáculo para el despliegue de estas redes.
- Salud. Se recomienda contar con una normatividad clara y actualizada respecto a la exposición a radiación no ionizante, respaldada por estudios de impacto. Esta normatividad deberá ser de carácter nacional y ser observada por todas las entidades y sectores involucrados

De acuerdo con los datos reportados, una estrategia de despliegue de las redes 5G debiera iniciar con una revisión de las regulaciones y condiciones administrativas actuales relacionadas con el despliegue de la infraestructura de los servicios de telecomunicaciones en general.

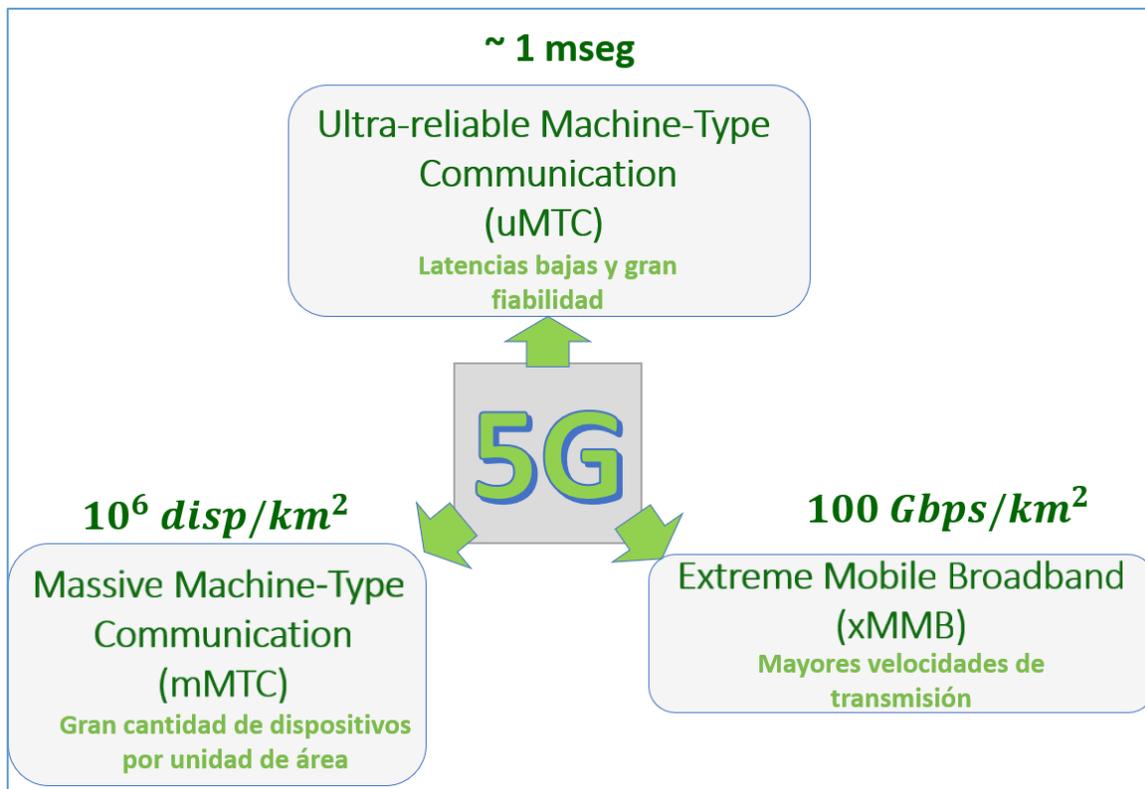
III. Sistema 5G. Concepto y descripción de funcionamiento.

La descripción de la quinta generación de comunicaciones móviles, 5G, mas que definirse como un sistema móvil, se puede aproximar a una plataforma de recursos de comunicaciones y tecnologías, que permite combinar estas para configurar la mejor solución para cada uso en particular, garantizando la calidad de la solución y al mismo tiempo optimizando los recursos. Un tema adicional y de no menos importancia es la flexibilidad y velocidad de respuesta de la plataforma a cambio en las condiciones demandadas por los servicios y aplicaciones.

III.5 Servicios Genéricos de 5G

5G puede definirse como una plataforma flexible, que podrá ser configurada de acuerdo con las necesidades del caso de aplicación que se desea desarrollar, alineando los requerimientos particulares y combinando sus componentes tecnológicos en 3 servicios genéricos de comunicaciones 5G, soportados a su vez por 4 habilitadores. Esto se indica en la Gráfica 5.

Gráfica 5. Servicios genéricos de la plataforma 5G.



i) Banda ancha móvil extrema o mejorada (xMBB)

La banda ancha móvil extrema (xMBB) proporciona grandes velocidades de transmisión (de hasta 100 Gbps) y latencias extremadamente bajas. Con estas características, la plataforma 5G está en condiciones de proveer mejores experiencias al usuario dentro de su área de cobertura, con bajos niveles del nivel de calidad de servicio a medida que el número de usuarios se incrementa.

Estas velocidades por usuario del orden de los Gbps haciendo uso de xMBB, permiten cubrir los requerimientos de aplicaciones que demandan condiciones de transmisión que garanticen un ancho de banda y latencias mínimos, como son las aplicaciones de realidad virtual o aumentada, o servicios de streaming de video en alta definición. De igual relevancia para el usuario final es contar con la provisión de un servicio que brinde tasas de transmisión estable y moderadas independientemente de las condiciones de propagación y de las características del medio. Así mismo, cuando la densidad de usuarios incrementa de manera importante, xMBB podrá implementar acciones de reconfiguración de sus recursos de modo que se garantice la continuidad del servicio, como decrecer la tasa de transmisión y aumentar la latencia, en vez de negar el servicio a los nuevos usuarios. Esta disminución se lleva a cabo de modo que no se vea afectada la calidad mínima requerida por el servicio, y dependerá de las condiciones de cada caso de uso. La xMBB también ofrece robustez en

los servicios provistos para usuarios a grandes velocidades, brindando una calidad de la experiencia (QoE) del usuario equiparable a un usuario fijo.

Muchas de las soluciones ofrecidas por xMBB consideran el acceso a bandas de espectro superiores a las actualmente usadas en las comunicaciones IMT; estas mayores frecuencias de transmisión permitirán incorporar a la red a una mayor cantidad de usuarios (redes masivas), proporcionar mayores velocidades de transmisión, brindando también diferentes alternativas de acceso al medio de transmisión.

El acceso a frecuencias mayores para transmitir, además de brindar las condiciones para lograr mayores velocidades, también ofrece alternativas de gestión del espectro que posibilitan un uso más eficiente de este recurso. De la misma manera, para alcanzar las prestaciones que varias de las aplicaciones requieren, es necesario que se asigne una mayor cantidad de espectro continuo, que puede ser de varios cientos de Hz en bandas bajas, mientras que en bandas superiores como la de 6 GHz, anchos de banda continuos de hasta 1 GHz es deseable.

La plataforma permite el desarrollo de aplicaciones de acuerdo con las características técnicas que cada caso en particular demanda, permitiendo que se prioricen algunas condiciones sobre otras. Por ejemplo, un servicio puede considerar como crítica la cobertura, sobre la velocidad de transmisión y el ancho de banda (este es el caso de muchas redes IoT).

Una de las principales tecnologías usadas para impulsar la eficiencia espectral es el uso de sistemas multi-antenas avanzados (MIMO) y Multipunto Coordinados (CoMP)). Los sistemas multi-antena soportan tanto altas tasas de transmisión en un área determinada por medio de una mejora en la eficiencia espectral, así como velocidades de transmisión más moderadas para aquellos escenarios de cobertura amplia.

Adicionalmente, los avances en tecnologías de antenas como el beamforming y el desarrollo de antenas inteligentes (smart antenas), contribuirán de manera relevante en la obtención de mayores velocidades de conexión.

Así mismo, xMBB brinda flexibilidad en la operación y gestión del espectro, operando con esquemas de bandas con acceso con licencia, Acceso Compartido con Licencia (LSA) y Acceso asistido con Licencia (LAA).

La densificación de las redes será una tendencia que se consolidará cada vez más, dando forma a las llamadas Redes de Ultra Densidad (UDNs). Para su integración, la xMBB presenta una interface radio optimizada para un espectro flexible, que permite usar bandas más altas para redes de alta densidad y con áreas de coberturas menor por nodo, mientras que para redes brinden áreas de cobertura mayores, el sistema podrá hacer uso de bandas de menor frecuencia, ofreciendo condiciones para armonizar el uso de frecuencias desde los 3 GHz hasta los 100 GHz.

Para el caso de las comunicaciones de corto alcance, la optimización del uso del espectro se fortalece con la implementación de esquemas de modulación OFDM. Esta interface radio se optimiza también para comunicaciones D2D, así como para enlaces troncales inalámbricos.

ii) Comunicación Masiva Tipo Máquina (mMTC)

Las comunicaciones tipo máquina masivas (mMTC) provee la capacidad de brindar conexión a una gran densidad de usuarios por unidad de área (hasta un millón de conexiones por km²), brindando además conectividad escalable, transmisión eficiente de la información para cargas de información pequeñas, priorizando grandes áreas de cobertura y penetración sobre velocidades de transmisión. Por su parte, las comunicaciones tipo máquina ultra confiables (uMTC) provee latencias extremadamente bajas (hasta 1 mseg) para redes que soportan aplicaciones que requieren alta disponibilidad, bajos retardos y alta confiabilidad. Para estas aplicaciones, la latencia y la confiabilidad se priorizan en relación a las velocidades de transmisión.

La mMTC provee una comunicación eficiente para una gran cantidad y variedad de dispositivos. Estos pueden ser dispositivos desplegados en áreas amplias, con fines de supervisión o monitoreo (p. ej. Medidores de consumo eléctrico doméstico en una ciudad), o de manera más local conectando dispositivos electrónicos dentro de una casa habitación, así como dispositivos y sensores con gran proximidad con el cuerpo humano, las denominadas body-area networks (BAN). Un elemento común para todos los casos mencionados es que la carga activa de los mensajes es muy pequeña y el tráfico se puede considerar como esporádico en comparación con las aplicaciones que soporta xMBB. En relación a las redes masivas desplegadas en amplias áreas geográficas como las descritas, el tema de la autonomía de operación de los dispositivos no puede depender de contar con una conexión a la alimentación eléctrica doméstica. De este modo, cada dispositivo debe contar con baterías propias que le permitan esta autonomía. Debido a lo poco práctico que resultaría llevar a cabo un cambio de baterías o recargar las mismas en cada uno de los dispositivos conectados, las operaciones y gestiones para eficientar el consumo energético es de gran relevancia (en 5G se establecen condiciones para que la duración pueda ser de hasta 10 años). Esta gestión para la eficiencia energética se lleva a cabo desde el nodo de acceso, mediante el desarrollo de condiciones particulares de operación, como mantener activo el dispositivo el menor tiempo posible, desactivándolo cuando no se considere necesario para el desarrollo de la aplicación/servicio implementado. Por ejemplo, en el caso del monitoreo del consumo eléctrico en casas habitación, el dispositivo podrá programarse para que envíe un mensaje por día informando del consumo diario y contar con la programación de determinadas alarmas que le permitieran “activarse” y enviar un mensaje en el momento de que se detectará alguna condición anómala.

La capacidad de mMTC para interconectar una gama heterogénea de dispositivos se fundamenta en su capacidad para manejar tres tipos básico de acceso: Acceso Directo a la red (MTC-D), acceso por medio de la agregación de un nodo (MTC-A) y acceso de corto-rango D2D en el caso de que existan dos dispositivos comunicándose a corta distancia. Para el caso de comunicaciones masivas, el DyRAN

y LCTF puede almacenar información del contexto del enlace en la red, de modo que se reduzca la cantidad de transmisiones necesarias. Al reducir la cantidad de transmisiones se logra prolongar la duración de las baterías

iii) **Comunicación Tipo Máquina ultra confiable (uMTC)**

La uMTC provee redes con altos niveles confiabilidad y comunicaciones con extremadamente bajos valores de latencia, como pueden ser el caso de sistemas que brindan seguridad en las carreteras, monitoreo de tráfico y manufactura industrial. Para el caso de los sistemas que operan en las carreteras, un eficiente control del tráfico y la implementación de sistemas de seguridad requieren que los vehículos que circulan por las carreteras intercambien información en tiempo real, haciendo uso de los llamadas protocolos Vehículo a Vehículo (V2V). Adicional a esta comunicación, el intercambio de información entre los vehículos y la infraestructura del medio (V2I) es vital también para detectar obstáculos y condiciones de la ruta. De igual o mayor importancia serán los esquemas que permitan a los vehículos detectar peatones (V2P). Los protocolos señalados se contemplan en lo que se define como protocolo V2X (Vehículo a todo), y estos protocolos pueden incluir comunicaciones con cierta periodicidad o comunicaciones originadas por la ocurrencia de determinados eventos. De manera general, las comunicaciones periódicas permiten prevenir y detectar condiciones de riesgo, como es el caso de detectar e informar sobre un percance que puede obstaculizar el camino de un vehículo, kilómetros antes de llegar al punto de conflicto, con el objeto de que el sistema pueda analizar alternativas de solución. Por otro lado, existen comunicaciones que requieren que se lleven a cabo de manera constante y con latencias bajas. Por ejemplo, el monitoreo de la velocidad y posición de un vehículo a alta velocidad que se aproxima a una zona donde el tráfico se encuentre detenido permitirá la activación de los frenos en el vehículo antes incluso que la potencial condición de riesgo sea visible. La precisión de la velocidad y posición del vehículo se vuelve de este modo un parámetro crítico, que requerirá bajos valores de latencia (p. ej. Un valor de latencia de 10 ms permitirá una precisión de posición de menos de 1 metro para un vehículo que circule a 100 km/hr). Por otro lado, las comunicaciones que se originan por la ocurrencia de determinados eventos (accidentes, condiciones anormales en la ruta, peatones, etc.) requerirán de redes con alta confiabilidad y con bajas latencias de modo que los mensajes de alerta lleguen con oportunidad a todos los interesados.

Para el caso industrial, se pueden considerar tres categorías:

- Equipos fijos, que pueden incluir partes y elementos rotativos y en movimiento, generalmente desplegados en interiores. Los sensores y actuadores integrados a los equipos se consideran dentro del proceso de control del proceso de manufactura.
- Robots autónomos, usados tanto en interiores como exteriores. Esta categoría es similar a las aplicaciones V2X, pero a velocidades menores y en ambientes privados.
- Redes de sensores desplegadas en equipos o partes de la maquinaria para propósitos de monitoreo. La salidas y datos obtenidos de estos sensores no serán parte del control del

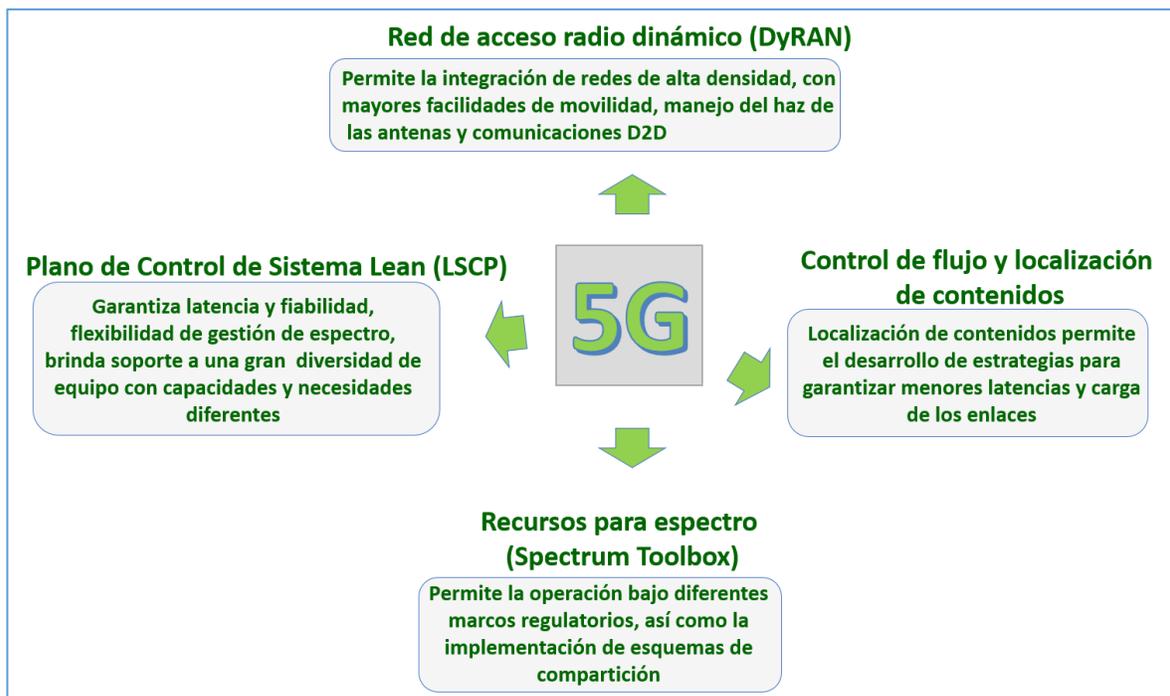
proceso de manufactura (pueden ser para fines de mantenimiento preventivo, consumo energético, evaluación del rendimiento, etc.)

Los servicios genéricos descritos son configurados de acuerdo con el caso de aplicación específico, permitiendo con ello hacer un uso más eficiente de los recursos que la plataforma ofrece, al mismo tiempo que permite priorizar aquellas características que sean clave para el correcto desempeño del caso de uso.

III.6 Habilitadores

En relación con los 4 habilitadores mencionados, estos se señalan en la Gráfica 6 y se definen de la siguiente manera:

Gráfica 6. Habilitadores del sistema 5G.



i) Radio Acceso Dinámico a la Red (DyRAN)

Red de acceso radio dinámico (DyRAN). Provee una interfase radio que se adapta de manera instantánea a cambios espacio-temporales rápidos del usuario (originado por cambios en el medio, velocidad del usuario, etc.). Para llevar a cabo esta tarea el DyRAN incorpora la capacidad de operar con redes con alta densidad de conexiones, redes móviles (que puede incluir nodos móviles), reconfiguración de haces de antenas (*beam forming*), la posibilidad de habilitar a los dispositivos

conectados como nodos de acceso temporales, así como la comunicación dispositivo-a-dispositivo (D2D), tanto para enlaces de acceso como para enlaces troncales.

Con el objeto de satisfacer los diferentes requerimientos de servicios y aplicaciones, el esquema de radio acceso de la red 5G deberá coordinar y alinear diferentes elementos y habilitadores, de modo que pueda coordinar y operar de manera diferenciada pero eficiente a toda la diversidad de redes que se implementan. Entre estas podemos mencionar a las redes tradicionales operando a frecuencias bajas que proveen grandes coberturas. También a redes de alta densidad (Ultra-Dense Networks) y nodos móviles (nomadic nodes), redes para proveer velocidades mayores en áreas y sitios determinados por medio de recursos tecnológicos (beamforming, MIMO), así como comunicaciones D2D, etc. La diversidad de redes (y las condiciones necesarias para su operación) podrán ser tan grandes como los tipos de aplicaciones o soluciones a desarrollar. El DyRAN integrará todos los elementos técnicos de una manera dinámica, permitiendo una rápida adaptación a los cambios en el medio de acuerdo con las necesidades del usuario, haciendo uso de manera eficiente de los recursos y capacidades disponibles.

La densificación de las redes (UDN) es una manera directa de incrementar la capacidad de la red, y se prevé que esta tendencia se presente tanto en interiores como exteriores, con separaciones entre nodos de apenas unos metros. Los usuarios de UDN podrán alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps. La demanda de estas capacidades, así como un uso eficiente de la energía, requiere que se tenga acceso a mayores anchos de banda, preferentemente continuos, lo que es mucho más factible en bandas centimétricas (de 3 a 30 GHz) y milimétricas (de 30 a 300 GHz) .

Las redes móviles se integran de nodos en movimiento (*nomadic nodes*) y/o nodos de retransmisión en movimiento (*moving relay nodes*):

- Moving relay nodes. Son nodos de acceso inalámbrico que permiten la comunicación a los usuarios que viajan en los vehículos, especialmente en escenarios de alta movilidad (p. ej. Trenes, autobuses, tranvías y recientemente también autos).
- Nomadic nodes. Es un nodo de red que hace uso de las capacidades de comunicación del vehículo para que este funcione como un nodo de acceso temporal para usuarios que se encuentran en el auto como para usuarios externos. Estos nodos contribuyen a la densificación de las redes y dar soporte a las demandas variantes con el tiempo y lugar.

La capacidad de una antena de modificar su patrón de radiación de acuerdo con las necesidades y condiciones del medio puede ser usada para incrementar la calidad de la señal que se transmite en una determinada área de cobertura, en un contexto de esquemas MIMO masivos o de CoMP. Esta modificación del patrón de radiación se puede visualizar como el cambio que puede sufrir el espacio iluminado por una antena, que además puede ser considerado como una red virtual. Estas modificaciones en el patrón de radiación se podrán modificar de acuerdo con las necesidades y recursos del sistema.

ii) Sistema de Plano de Control Ligero (LSCP)

Sistema de Plano de Control Ligero (LSCP). Provee un sistema de señalización que garantiza la latencia y la disponibilidad de la conexión, proporcionando flexibilidad en el espectro, permitiendo la separación de los planos del usuario y de control, brindando soporte también a una gran cantidad y variedad de dispositivos. La diferenciación entre estos planos permite que cada información pueda ser procesada de acuerdo con las características de cada uno.

El LSCP provee un acceso a la red 5G por medio de una primera señalización que es común para todos los servicios. Adicionalmente, la señalización para servicios específicos deberá ser transmitida solo cuando un usuario o dispositivo desee transmitir información, con el objeto de evitar que estas señales sean transmitidas en zonas sin usuarios.

Para alcanzar velocidades extremas de velocidad, se requiere de señales específicas del servicio, de forma que se pueda obtener información específica del estado del canal y habilitar transmisiones espectralmente eficientes.

Para el caso de dispositivos que operan con baterías, es necesario contar con información oportuna y específica que permita optimizar el modo de suspensión (*sleep mode*) de los dispositivos, así como la implementación de procedimientos de movilidad con un mínimo de señalizaciones y mediciones. La separación de los planos de usuario y control minimizan la señalización de la condición *siempre encendido* (always on), soportando transmisión y recepción discontinua en el plano del usuario.

La posibilidad de separar el plano del usuario y de control permite también gestionar las transmisiones a diferentes frecuencias, haciendo uso del plano de control para transmitir en bajas frecuencias para aplicaciones que requieren buena cobertura y del plano del usuario para transmisiones en altas frecuencias para aplicaciones que demandan altas tasas de transmisión.

iii) Flujo de tráfico y localización de contenidos (LCTF).

El LCTF permite la implementación de estrategias de *offloading*⁹ de las conexiones, así como la agregación y distribución en tiempo real de contenido almacenado de manera temporal. La localización de los contenidos permite reducir la latencia y la carga en los enlaces troncales.

El incremento en el tráfico se posiciona como uno de los principales retos para toda la red 5G, incluidas las redes troncales. Mucha de la información circula por las redes es de interés local (p. ej. información de tráfico, información de comercios en la zona). En las redes previas, normalmente

⁹ Las estrategias de offloading se refieren a la posibilidad de llevar a cabo un enrutamiento del tráfico de las redes móviles a otras tecnologías de acceso alternativo con cobertura local, que usualmente tienen rangos de transmisión más cortos, como el Wi-Fi. Esto generalmente con el objeto de disminuir la carga que soporta la red móvil.

cuando se establecía una comunicación entre dos nodos localizados cerca uno del otro, los mensajes e información que intercambian se envía primero a una central que gestiona el envío al destinatario final (*tromboning*, por su definición en inglés). Por medio de la identificación de contenido de interés local y manteniéndolo cerca del usuario potencial, la carga de la red de transporte puede ser minimizada.

Para satisfacer las demandas de aplicaciones donde los retardos y latencia son parámetros críticos (p. ej. Control de vehículos autónomos) es necesario que el resultado de los procesos computacionales que gestionan la operación de dichas aplicaciones llegue de manera oportuna, en tiempo y forma, por lo que es necesario mover el servidor de estas aplicaciones cerca del usuario final. La LTCF permite llevar a cabo este proceso.

iv) Caja de herramientas de espectro (Spectrum Toolbox)

Esta caja de herramientas provee un conjunto de habilitadores que permiten que los servicios genéricos que ofrece 5G puedan operar bajo diferentes marcos regulatorios, diferentes escenarios de uso/compartición de espectro y bandas de frecuencia. Así mismo, permite que el sistema pueda reaccionar de manera oportuna ante los cambios que demandan los diferentes servicios ofertados por el sistema 5G, donde sea necesaria la reasignación de espectro.

Para satisfacer la demanda de mayores tasas de transmisión que el xMBB establece, la caja de herramientas permite el uso de bandas de frecuencias superiores a las actuales, permitiendo el uso de banda medias (3 a 6 GHz) y frecuencias altas (por arriba de 6 GHz). Las frecuencias bajas se pueden priorizar para soluciones que demanden grandes coberturas, con necesidades de velocidad y latencia moderadas.

Así mismo, se brinda la posibilidad de asignar espectro exclusivo para garantizar cobertura y calidad de servicio (QoS), pudiendo ser complementado con otros esquemas de licenciamiento que permitan combinar la compartición de espectro con el uso de banda libres. Las grandes capacidades de transmisión posibilitan el establecimiento tanto de enlaces de acceso como redes troncales.

En resumen, se puede establecer que las principales prestaciones que la caja de herramientas de espectro ofrece son:

- Uso de diferentes bandas de frecuencias de modo que se posibilite el desarrollo e implementación de esquemas eficientes de uso de espectro, priorizando las necesidades clave de las diferentes aplicaciones (velocidad, cobertura, latencia, QoS, etc.).
- Facilita diferentes esquemas de compartición de espectro, pudiendo implementarlas de manera individual u operando de manera combinada.
- Una mayor flexibilidad en la gestión/asignación/reasignación de recursos espectrales.

Con base a los servicios genéricos y los habilitadores descritos, un sistema 5G se puede definir como una red que provee estos servicios genéricos de una manera flexible, de modo que pueden reconfigurarse y mezclarse dando prioridad a los parámetros de interés, al mismo tiempo que optimizan los recursos con los que el sistema cuenta. Un operador estará en condiciones de cambiar las condiciones y características técnicas de la plataforma 5G de los servicios ofertados de acuerdo con las necesidades del usuario. El espectro usado no deberá ser identificado solo para cierto tipo de servicio y podrá ser destinado a otros servicios y tecnologías cuando no sea utilizado.

Con base en la descripción de las funcionalidades que definen a los sistemas 5G, se contempla la identificación de indicadores adicionales, que permitan dimensionar y jerarquizar tanto las características que demandan las diferentes aplicaciones y servicios para su correcto funcionamiento, como también la gestión de los recursos que ofrece la plataforma.

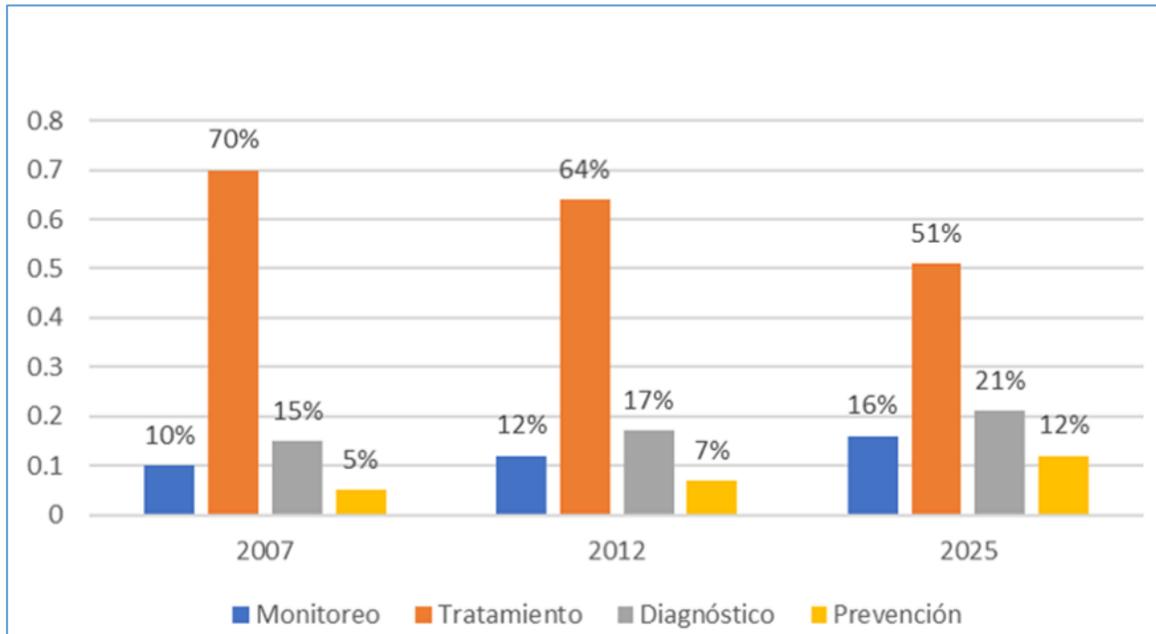
IV. Evolución en sectores productivos

La posibilidad de conectar de manera masiva por unidad de área a una gran cantidad de objetos/personas, a velocidades y latencias sin precedente, ofrece la posibilidad de implementar estrategias de mejora en la eficiencia de los procesos en prácticamente todos los sectores productivos, así como también la posibilidad de desarrollar otros sectores que previamente presentaban limitaciones debidas a las condiciones de movilidad y conectividad.

Salud

Haciendo uso de accesorios y sensores colocados en nuestro cuerpo (wearables), las redes 5G ofrecen la oportunidad de expandir y desarrollar nuevas estrategias de medicina preventiva, así como mecanismos de monitoreo del estado de salud de los pacientes. Estos sensores permiten capturar y enviar a la red, a cualquier hora del día sin importar el lugar donde nos encontremos, indicadores como niveles de glucosa en la sangre, presión sanguínea, ritmo cardiaco, etc. Estas acciones de monitoreo y seguimiento habilitan de manera directa estrategias de medicina de prevención, permitiendo detectar con una mayor oportunidad potenciales padecimientos, así como las acciones y recomendaciones para mitigar su efecto. Como puede verse en la Gráfica 7, la tendencia hacia el gasto en esquemas salud relaciones con el diagnóstico, monitoreo y prevención se espera que sean casi la mitad del gasto total, igualando el gasto por el tratamiento de padecimientos ya existentes,

Gráfica 7. Porcentaje de inversión global en cuidados de la salud. (PwC)



Del mismo modo, aplicaciones de una mayor especialidad también se están desarrollando. Por ejemplo, cámaras microscópicas introducidas a los cuerpos de un paciente, conectadas a una red 5G se están usando para proveer video en tiempo real para que un paciente pudiera ser diagnosticado y tratado por un especialista situado en un lugar remoto. Las potenciales aplicaciones relacionadas con telemedicina son vastas y de muy diversa índole. En [CB INSIGHTS. (2021)] se estima que la telemedicina pudiera llegar a alcanzar un mercado de 190 billones de dólares a nivel global para el 2026. Avances y experiencias particulares en el caso de las intervenciones quirúrgicas remotas se han llevado a cabo en algunas ciudades del mundo. En enero del 2019, un grupo de médicos en la provincia de Fujian en China llevó a cabo una intervención quirúrgica remota, en el cual se removió el hígado a un animal de laboratorio. Otro caso similar fue reportado y publicado en redes sociales, donde se mostraba una cirugía realizada a un plátano, con la particularidad de que el cirujano y el *paciente* se encontraban uno en Londres y el otro en California, a una distancia estimada de 8000 km. En febrero del 2019, en el marco de la celebración del *Mobile World Capital* en Barcelona, se llevó a cabo una operación quirúrgica en la que se extirpó una parte enferma del colon de un paciente por medio de una red 5G; la operación fue un éxito y tuvo una duración de 75 minutos aproximadamente [Raquel Forés. (2020)]. Ejemplos similares han sido reportados y documentados alrededor del mundo [NAD (2021)]. Así mismo, en la universidad de Rush, en asociación con AT&T en los EEUU, se están llevando a cabo pruebas de conectividad con redes 5G para uso en hospitales gestionados por la misma universidad.

De manera prospectiva podemos imaginar una hipotética empresa aseguradora que ofrezca una póliza de gastos mayores a un precio menor si el paciente accede a instalar en su cuerpo un sistema

de sensores que permita monitorear variables como nivel de colesterol, grasa corporal, azúcar en la sangre, etc. Con esta información el cliente recibiría en su dispositivo móvil un informe periódico de su salud, así como recomendaciones para mantener los valores de las variables medidas en niveles saludables, por medio de ejercicio, una dieta sana, así como hábitos saludables relacionados con las horas de sueño y descanso. Incluso, esta hipotética aseguradora pudiera ofertar el pago de una suscripción a un gimnasio para reducir las probabilidades de que se presenten condiciones de riesgo como obesidad y estrés. La aseguradora destinaría su modelo de negocio hacia esquemas de prevención y monitoreo, con un costo menor que atender a un cliente convaleciente de algún padecimiento grave. Mantener a un cliente sano invirtiendo en recursos para ello, se presenta como un negocio que pudiera ser más redituable que el tratamiento de un padecimiento por largo tiempo.

Manufactura

El sector de la manufactura ha hecho uso de tecnologías como la inteligencia artificial y el internet de las cosas como base para incrementar su eficiencia. Las redes de sensores instalados a lo largo del proceso de producción y de la cadena de valor permiten la recolección en tiempo real de información relacionada con el estatus, operación y eficacia del proceso total. Esta información recopilada y almacenada, es entonces utilizada como insumo de procesos de analíticas de datos tanto descriptivas y predictivas, haciendo uso de algoritmos de ciencia de datos. Adicionalmente, los resultados de estos análisis se pueden utilizar como recurso para que los autómatas involucrados lleven a cabo actualizaciones en su programación de manera automática (sin la intervención humana), además de llevar a cabo procesos de toma de decisiones producto de algoritmos de inteligencia artificial. Por medio de las redes 5G se tiene acceso a un medio de transmisión más rápido y confiable, así como a una mayor gama de sensores, dispositivos y tecnologías que pueden integrar en sus fábricas y flujos de trabajo.

La realidad aumentada se posiciona como una tecnología que ha encontrado una gran oportunidad dentro de este sector. La compañía Ericsson ha iniciado pruebas con una herramienta que opera con realidad aumentada, que es usado para apoyar al área de reparación y mantenimiento de una fábrica localizada en Tallinn, Estonia. Por medio de esta herramienta, el personal de la fábrica tiene acceso de una manera sencilla y directa a un método donde el obrero involucrado en el proceso de reparación de una tarjeta puede señalar alguna de las secciones o algún circuito de la tarjeta, y el ambiente le desplegará algunas de las alternativas y recursos para su reparación. Cuando es necesario llevar a cabo una actualización del programa de capacitación para la reparación de tarjetas electrónicas, y la caracterización de las fallas deberá actualizarse de manera diaria, estas actualizaciones pueden llevarse a cabo en un tiempo mucho menor que haciéndolo por el proceso tradicional, obteniendo mejoras en la productividad de hasta un 50% [Ericsson (2018)]. En Alemania, y en sociedad con la empresa fabricante de motores para aviones *MTU Aero Engines* y la institución alemana *Fraunhofer Institute for Production Technology* para probar la tecnología 5G en un ámbito industrial. Se estima que la iniciativa pudiera generar ahorros de aproximadamente 27 millones de euros para una sola de las plantas [CB INSIGHTS. (2021)].

Otra de las ventajas que ofrecen las redes 5G es la posibilidad de implementar múltiples redes dedicadas en la misma planta, soportando diferentes redes de acceso radioeléctrico (RAN). Este mecanismo, definido como *slicing*, permitirá implementar estrategias para redes más eficientes en velocidad, cobertura y seguridad.

La implementación de celdas de automatización en una línea de ensamble de una fábrica puede ser mejorada con la implementación de mecanismos de control con altos niveles de confiabilidad y con bajos niveles de latencia que permitan soportar aplicaciones en tiempo real [METIS (2015)]. No obstante que la información que se envía no requiere mensajes de gran tamaño y que la movilidad no es un requisito clave, es fundamental lograr que satisficiera las demandas de bajas latencias y confiabilidad en las comunicaciones, que no pueden ser cubiertas con las redes móviles previas. Esta es una de las principales razones por las que, previo a 5G, la mayoría de las redes de alta confiabilidad deberían instalarse haciendo uso de redes alámbricas.

Industria Automotriz

Empresas como Tesla y Google han sido los pioneros en el diseño y desarrollo de vehículos autónomos, implementando pruebas de conducción y navegación sin la intervención humana. Como parte de este proceso de evolución se integró el consorcio 5GAA (*5G Automotive Association*), formado por empresas como Qualcomm, Ericsson, Huawei y Nokia. Uno de los principales problemas a los que los primeros modelos se enfrentaron fue, que al hacer uso de computadores a bordo de los vehículos para procesar la información del entorno obtenida por medio de mecanismos de detección (por medio de la operación de radares), el tiempo necesario para ejecutar las acciones de sensado-recolección-procesamiento-toma de decisión condicionaba el rendimiento general del sistema, elevando el riesgo en la toma de decisiones de acciones definidas como críticas (acciones como frenado, cambio de dirección, etc.) que requieren de tiempos de respuesta más bajos a los que se obtenían por ese medio. Para solventar este problema, están haciendo uso de la tecnología 5G y estrategias de acceso implementadas en el borde de la nube (*edge computing*). Para ello, se definió en 2016 la tecnología C-V2X (*celular-vehicle-to-everything*). Este sistema se basa en la comunicación (más que el sensado) con los otros elementos que integran el ambiente, como otros vehículos, semáforos, construcciones, etc., de modo que pueda coordinar sus movimientos de manera segura. La tecnología C-V2X se potencia como una herramienta que puede ofrecer soluciones al problema del tráfico, brindando información relevante para el diseño urbano, así como información en tiempo real a los conductores respecto a mejores alternativas de ruta, condiciones de riesgo, accidentes, etc. En las grandes ciudades, se espera que esto contribuya a la disminución de los tiempos de traslado, así como la emisión de contaminantes.

Agricultura

Sensores y actuadores colocados a lo largo de los campos de cultivo permitirán monitorear y comunicar el estado y condiciones de la tierra, la cantidad e intensidad de las lluvias, temperatura y humedad del medio ambiente, condiciones del viento, etc. Existen estimaciones que indican que una

vez que las funcionalidades que 5G ofrece se incorporen a los procesos relacionados con la agricultura, habrá una mayor cantidad de alternativas para enfrentar el desafío de la creciente demanda de alimentos en el mundo. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, para el 2050 se requerirá el 70% de más alimentos que lo consumido en 2019.

El desarrollo de lo que se ha definido como agricultura inteligente, o agricultura de precisión permite llevar a cabo mecanismos de control y vigilancias de los cultivos de acuerdo con sus necesidades específicas, reduciendo de este modo el uso de recursos como el agua, fertilizantes y herbicidas. 5G permite potenciar el desarrollo de redes de sensores en los campos de cultivo, que están en condiciones de enviar la información que colectan a plataformas que operan en la nube, donde por medio de algoritmos de analítica de datos e Inteligencia Artificial identifican patrones y necesidades, los agricultores pueden obtener mayores rendimientos de las cosechas, alimentos de mejor calidad, posibilitando con esto también la obtención de una mayor rentabilidad. Pongamos por ejemplo que, gracias a la identificación de cierta característica en las condiciones en la plantación o el suelo, el sistema emitiera una alerta sobre la posibilidad de que se desarrolle una plaga, esto con base a información almacenada en la plataforma de casos similares previos.

Las comunicaciones M2M permitirán también que la información generada, sea utilizada para activar/desactivar los actuadores instalados en los campos de cultivo, controlando de este modo sistemas de riego y suministro de nutrientes, entre otros procesos. El uso de drones para identificar áreas con maleza o alguna otra situación anómala es también ya común [Fomento (2018)], impulsando también acciones relacionadas con la detección y combate a siniestros naturales como incendios o inundaciones.

Un tema de relevancia que el desarrollo de la agricultura de precisión trae consigo es la mejora y modernización de los sistemas de riego, permitiendo hacer un uso mas eficiente del recurso hídrico. El impacto de esto puede ser significativo para el caso de nuestro país, si consideramos que de acuerdo con la CONAGUA [CONAGUA (2015)], más del 76% del agua empleada en México para las diversas actividades humanas tiene como fin un uso agrícola.

Esta vigilancia y monitoreo de las principales variables productivas también se aplica al ganado, donde un agricultor puede saber la ubicación, ingesta diaria de agua y comida, datos biométricos, actividad física en tiempo real y de forma remota. Estos datos pueden contribuir a la detección oportuna y predicción de padecimientos, monitoreo y control del crecimiento, así como el tratamiento y evolución de alguna enfermedad o lesión.

La empresa Microsoft, por medio de su proyecto Farmbeat [Microsoft. (2015)] para el desarrollo de granjas inteligentes, está promoviendo emprendimientos donde pueden participar tanto agricultores privados como entidades gubernamentales. Estas granjas cuentan con redes de sensores que monitorean las variables de las granjas mediante la interconexión de múltiples fuentes, como

sensores, drones, tractores y maquinaria operando. Esta información es procesada brindando la posibilidad de conocer el estado real de la operación de la granja en cualquier momento. Debido a que normalmente los campos de cultivo se encuentran en zonas rurales donde la cobertura de servicios de comunicaciones móviles puede no ser la mejor, Microsoft promueve el uso de espacios blancos de TV (TVWS) para llevar la información a la plataforma que la empresa opera en la nube. La tecnología 5G potenciará el desarrollo de este tipo de aplicaciones proporcionando esquemas flexibles de asignación de espectro, así como las latencias críticas necesarias para el control en tiempo real de la maquinaria e instrumentación, como el caso de los drones entre otros.

Energía y utilities

Las smart utilities consisten en redes de sensores integrados a las redes distribución de servicios como la electricidad, el gas y el agua. Las empresas responsables de la provisión de estos bienes de consumo integran la red de sensores con el objeto de ofrecer de forma más eficiente sus servicios, analizando y monitoreando sus operaciones. Estas redes también son definidas como smart grids, y pueden incluir no solo el proceso de distribución, sino también los procesos de producción, así como el monitoreo del consumo por parte del usuario final. Uno de los principales objetivos es brindar la capacidad de reacción a la empresa proveedora ante eventuales cambios en las condiciones del servicio de suministro o de consumo, para evitar potenciales daños mayores a la red y su impacto sobre la población (p. ej. apagones en ciudades, fugas de gas en zonas pobladas).

Con redes de este tipo, las empresas están en condiciones de vigilar y monitorear el rendimiento general del sistema, así como implementar esquemas y acciones de protección remota que permitan la ejecución de acciones preventivas o correctivas para responder a potenciales situaciones de riesgo (accidentes, incendios, caída de árboles sobre la infraestructura, etc.). Estas acciones requieren de conexiones con bajos niveles de latencia y redes con alta confiabilidad, que estén disponibles todo el tiempo. Así mismo, el monitoreo del rendimiento de la red y del consumo, permite identificar patrones de comportamiento, programación de mantenimientos preventivos a la red, así como la implementación de acciones de mitigación y reparación de daños en caso de percances.

No obstante que se espera que las necesidades de ancho de banda y la latencia no sean críticos para monitorear el consumo de energía eléctrica de un usuario, es necesario considerar que será necesaria la implementación de redes masivas en las ciudades, así como una plataforma que puede brindar las condiciones necesarias en comunicaciones de emergencia sean requeridas.

Contenidos multimedia

El mercado de los contenidos multimedia ha crecido de manera relevante en los últimos años, permitiendo a cada vez más personas acceder a servicios multimedia en el momento que lo desea y en cualquier lugar, haciendo uso de una gran diversidad de dispositivos. Con el objeto de brindar una calidad de experiencia (QoE) satisfactoria al usuario final, la provisión de estos contenidos hace uso de redes que proporcionen un ancho de banda y retardos en la red adecuados, condiciones puede

cambiar a demanda del usuario, con altos niveles de disponibilidad, así como que priorice los enlaces de bajada.

Las empresas que ofrecen estos servicios en línea seguirán demandando mejores condiciones en los enlaces. Productos como juegos en línea, servicios de música y productos de video OTT (*Over the Top*) se espera continúen en crecimiento. Cuando un servicio de juego en línea se distribuye a través de una red 5G, la capacidad computacional no se encuentran en el hardware del usuario, sino que se localizan en el borde de la nube, lo más cerca posible al usuario. Combinando altas velocidades, ultra bajas valores de latencia, este concepto de computación en el borde (*edge computing*) permitirá el desarrollo de una nueva era en experiencias de juego en líneas cada vez mas inmersivas, que no son posibles con generaciones móviles previas. Las empresas OTT podrán distribuir servicios de streaming haciendo uso de redes 5G, incorporando experiencias de realidad virtual y realidad aumentada, de manera simultánea con video en alta definición. Otro sector relacionado que se está presenta un crecimiento acelerado son los *e-sports*¹⁰, donde gracias las facilidades de las redes 5G se pueden implementar múltiples conexiones virtuales sobre la red (*network slicing*). Son varias las universidades en el mundo que ya ofrecen especialidades y programas académicos, así como becas para los atletas que busquen aprovechar su habilidad con los videojuegos para cursar una carrera. La Universidad Robert Morris en EEUU ofrece una beca de 19, 000 USD a los miembros de su equipo del popular video juego *League of Legends*, mientras que la Universidad Irvine de California ofrece hasta diez becas para atletas de eSports y recibe un patrocinio de compañías de desarrollo informático y de videojuegos para abrir una arena de eSports con valor de 250,000 dólares.

Servicios Financieros y bancarios

5G permitirá acelerar la migración de los servicios financieros y bancarios tradicionales hacia canales digitales, así como también desarrollar plataformas que impulsen el desarrollo de las actividades de venta y compra al menudeo (*retail*). El incremento en el desarrollo de las experiencias virtuales permitirá reducir o eliminar el costo de los canales físicos tradicionales, tales como las redes de sucursales y centros de atención. Así mismo, los esquemas de pago automatizado permitirán que las redes inteligentes de utilities como el agua o electricidad, informen de manera directa al banco del monto de consumo y la institución bancaria realice el pago a nombre del usuario sin apenas la intervención humana.

Las empresas de seguros e inversiones también podrán aprovechar las características de las redes 5G masivas con alta confiabilidad para la implementación de sistemas de inteligencia artificial y analítica de datos que impulsen acciones de prevención y detección de actividades ilegales, como fraudes y robos. La mejora en los medios para la validación de los datos del usuario por medio de algoritmos

¹⁰ Juegos en línea que contempla competencias, muchas veces a nivel profesional, entre múltiples jugadores de diferentes disciplinas, normalmente basados en los juegos de mayor popularidad.

de reconocimiento facial y datos biométricos permitirá incrementar la confiabilidad en el uso de las redes, impulsando a su vez la viabilidad de desarrollar más servicios y productos.

V. Impacto Económico

El impacto de la tecnología 5G se basa en la posibilidad de que por medio de los recursos que ofrece esta generación de comunicaciones móviles se incremente la eficiencia y la productividad en los procesos actuales. A nivel global, se espera que a medida que el uso de 5G se incremente, se desarrollaran nuevas e innovadoras estrategias para llevar a cabo actividades productivas, que pueden ser desde la fabricación de bienes, control de calidad de los procesos, distribución, venta, etc. Aunado a lo anterior, se espera que la consolidación de 5G en la sociedad permita impulsar escenarios de innovación y desarrollo de nuevos modelos de negocio, que impulsará la creación de bienes y servicios totalmente innovadores.

El factor disruptivo de la tecnología 5G se puede comprender desde la perspectiva del impacto que esta tendrá en la forma en que se llevan a cabo las actividades productivas. 5G es una tecnología enfocada a brindar recursos y posibilidades de desarrollo a sistemas y sectores productivos, más que a solo usuarios finales como lo hacían las generaciones previas.

Estas posibilidades de desarrollo se basan en las nuevas capacidades tecnológicas que la plataforma 5G ofrece, posibilitando velocidades 100 veces mayor que las generaciones previas, así como permitiendo incrementar la capacidad de conexiones de equipos a la red por un factor de 1000, además de la mejora en el ancho de banda y latencia explicados previamente.

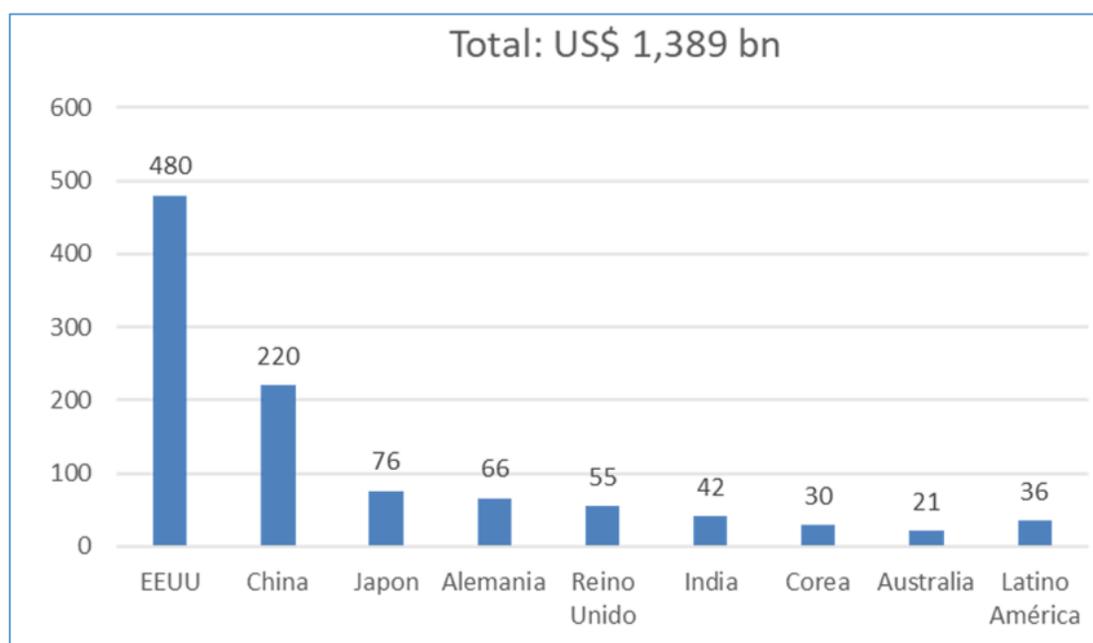
Todo lo anterior, combinado con tecnologías como inteligencia artificial, realidad extendida y aumentada, cómputo en el borde de la nube y el internet de las cosas configuran una plataforma tecnológica que posiciona a la sociedad en condiciones de materializar beneficios para la población.

El tamaño y naturaleza del impacto económico dependerá de las condiciones de cada país, y de las condiciones de la infraestructura de los sistemas de telecomunicaciones y tecnológicos, así como del estado de cada una de las industrias en particular. En varios estudios se han reportado estimaciones del impacto económico en varias economías del mundo, basándose en industrias específicas [PwC (2021)] [OMDIA (2021)]. La consultora PwC enfoca su análisis en 5 industrias que considera clave como indicativos de este impacto económico a nivel global. Por su parte, OMDIA resalta las oportunidades que las empresas de telecomunicaciones para su crecimiento y desarrollo tiene ante sí, indicando algunos de los sectores productivos en los que estas oportunidades se podrían materializar, enfocando parte de su análisis para el mercado de LATAM.

Sin duda alguna, las exigencias, lecciones y aprendizajes que la pandemia del COVID-19 esta dejando al mundo ha llevado a prácticamente a todos los sectores de la población a repensar y reconfigurar la manera en que llevan a cabo sus actividades, de manera que puedan evolucionar y adaptarse a estas nuevas condiciones. Este replanteamiento incluye la identificación de requerimientos tecnológicos y de mejores sistemas de telecomunicaciones que sirvan como las herramientas que impulsen esta evolución. La plataforma 5G ofrece muchos de estos recursos. De acuerdo con [PwC (2021)] el impacto global podría ser de aproximadamente de US\$ 1,389 billones para el 2030, posicionan al sector salud como una de las principales áreas donde este impacto puede ser mas significativo.

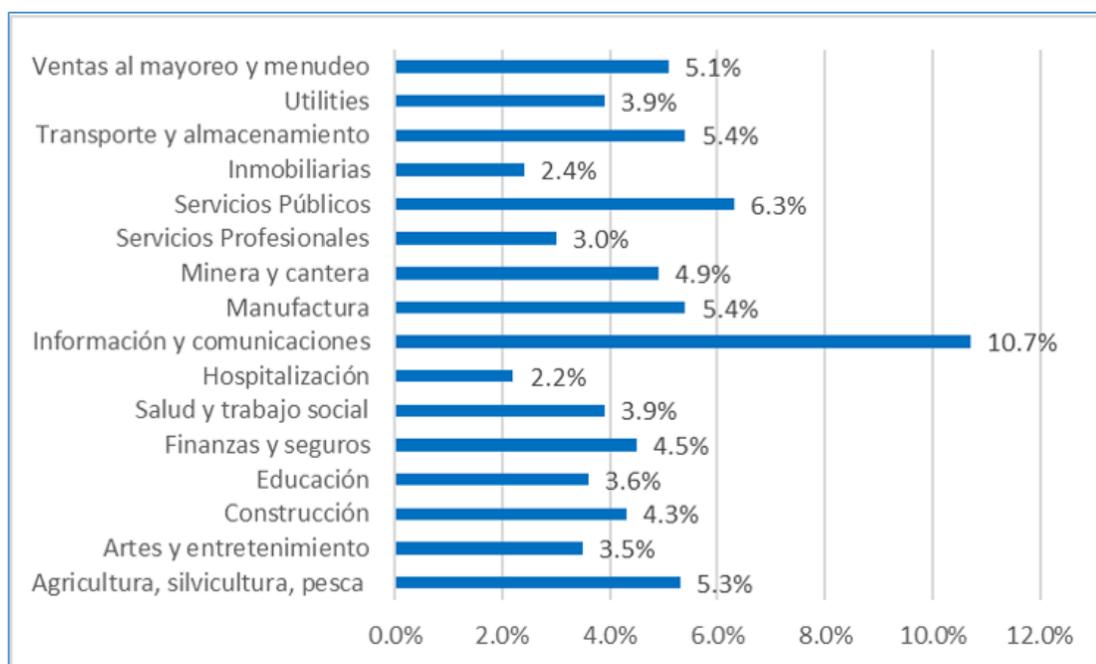
Otros sectores considerados en el análisis son el de las *smart utilities*, consumo minorista (*retail*), manufactura industrial y servicios financieros. Gráfica 8.

Gráfica 8. Impacto global 5G para 2030 [PwC (2021)]



Por su parte, OMDIA identifica para los países de LATAM sectores específicos donde el impacto de 5G permitirá un incremento en sus ingresos, hacia el año 2035. Resalta el impacto potencial que se identifica para los sectores de comunicaciones y sistemas de información. Gráfica 9.

Gráfica 9. Incremento en los ingresos 2020-2035. LATAM [OMDIA (2021)]



V1 Salud

De acuerdo con [PwC (2021)], el sector salud incluye una gran variedad de campos de aplicación y oportunidades. Sin embargo, se identifican áreas específicas donde este impacto puede ser más significativo a corto plazo

Estancias en hospitales menos frecuentes y con menos duración.

5G permitirá mejorar de manera notable la comunicación entre médicos y pacientes, de manera que esta se pueda llevar a cabo de manera continua y en tiempo real, sin necesidad de que el paciente se encuentre físicamente en instalaciones del centro médico. Esto permitirá contribuir a que el personal médico puede hacer uso de tiempo de manera más eficiente y mejorando la calidad en la atención a los pacientes.

Interacción remota paciente-doctor.

Las plataformas móviles de salud basadas en la tecnología 5G permitirán la implementación de sistemas de monitoreo y recolección de información de la salud del paciente de manera inmediata y

oportuna, mediante una red de sensores portados por el paciente. Esto permitirá la vigilancia de la salud del paciente con fines preventivos, así como el seguimiento y monitoreo de la evolución de un tratamiento prescrito. Así mismo, un médico puede llevar a cabo no solo consultas médicas remotas, sino también procedimientos quirúrgicos o tratamientos específicos sin necesidad de estar en lugar donde el paciente se encuentre. Los beneficios en la eficiencia y aprovechamiento del tiempo del médico es evidente, adicional a que la cobertura de los servicios también es impulsada.

Uso de drones para transportar equipo médico

En el caso de una emergencia, un desfibrilador puede hacerse más rápidamente al lugar del percance por medio de un dron, en vez de ser transportado por una ambulancia. De la misma manera, pueden hacerse llegar medicamentos, sangre, vacunas, etc., a cualquier parte, de una manera más ágil y económica. Un paciente puede hacer llegar las muestras que el medico se solicite por este mismo medio, y recibir sus resultados en su correo, junto con el tratamiento recomendado.

Telemedicina

Las características técnicas de 5G relativas al ancho de banda y latencia permitirán una interacción del personal médico con el paciente como nunca antes. Con una red de sensores colocados en la vestimenta de los pacientes (*wearables*), el sistema médico puede estar monitoreando el estado de salud de millones de personas en tiempo real y de manera instantánea. Esta información será almacenada y procesada de manera que puedan identificarse oportunamente futuras patologías, epidemias, así como también detectar de manera particular alguna emergencia en algún paciente. Esto sistemas de monitoreo remoto de la salud, almacenamiento y procesamiento en la nube permitiría una expansión de la cobertura médica, incluyendo a la población que no contará con un centro médico en su lugar de residencia.

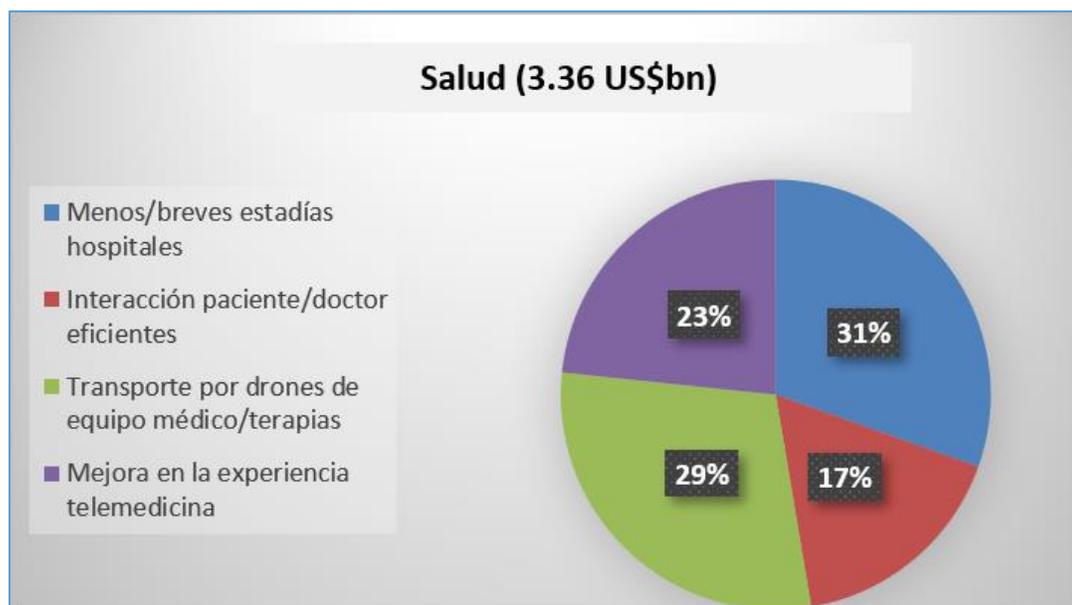
De este modo, se identificar sectores particulares que para el caso de nuestro país pudiera ser la punta de lanza del crecimiento en el sector, abriendo posibilidades tanto a entidades gubernamentales y privadas. En el mismo estudio de PwC se hace un estimado que para el 2030 este sector pudiera agregar US\$ 530 billones al producto interno producto mundial, correspondiendo un aproximado de US\$ 14 billones para LATAM.

Considerando las estimaciones realizadas para el caso de LATAM por la misma consultora, y considerando que nuestro país contribuye con aproximadamente con el 25% del PIB de toda la región¹¹ (de acuerdo con el reporte del 2020 del *World Economic Outlook database*) se estima que este sector en nuestro país pudiera contribuir al PIB con un total de aproximadamente de US\$ 3.36

¹¹ [https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Latin_American_and_Caribbean_countries_by_GDP_\(nominal\)](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Latin_American_and_Caribbean_countries_by_GDP_(nominal))

billones. En la Gráfica 10 se muestra el porcentaje que se estimada para cada una de las aplicaciones consideradas para este sector.

Gráfica 10. Aportación del sector al PIB al incorporar 5G. México 2030.



V2 Smart Utilities

Las condiciones medio ambientales en el mundo están impulsando acciones encaminadas hacia una transición energética que permita mejorar los procesos de producción y consumo como la energía eléctrica, el gas y el agua. El desarrollo de las *smart utilities* por parte de las industrias relacionadas con estos bienes, está transformando completamente la relación que actualmente se establece con los usuarios.

En la actualidad, en muchos países ya existe una reglamentación relativa a la emisión de CO₂ a la atmósfera en sus procesos productivos, lo que hace necesaria la implementación de sistemas de monitoreo y control que permitan cumplir con estas reglamentaciones al momento de generar energía eléctrica por medio de la quema de combustible fósiles. Esto mismo también está ocasionando que estas empresas estén incorporando métodos alternativos de generación, buscando aquellos que sean menos contaminantes con el medio. De acuerdo con el *2029 Global power strategies report*¹², las empresas de este sector están llevando a cabo grandes inversiones en

¹² <https://www.strategy-business.com/article/Amping-up-innovation>

actividades de investigación y desarrollo que les permita avanzar en el proceso de descarbonizar la generación de energía eléctrica. Según la misma fuente, se estima que la inversión fue de aproximadamente US\$2.1 billones en el 2018. Dentro de las alternativas analizadas, las *smart grids* basadas en tecnología 5G toman relevancia.

Las redes masivas que posibilita 5G, así como la eficiente gestión del consumo energético de los dispositivos conectados a la red para garantizar tiempo de uso prolongados son recursos clave para los nuevos desarrollos. Para sector PwC identifica tres casos específicos donde el impacto será mas significativo.

Redes y medidores inteligentes (smart meter, smart grids)

Las redes inteligentes, basadas en tecnología de redes masivas de Internet de las cosas, permitirá a las empresas proveedoras de energía eléctrica y gas, mejorar el servicio a sus clientes proporcionando mayores detalles de su consumo, incluyendo recomendaciones de uso, así como la posibilidad de que de manera remota alguna condición anómala que pudieras ocasionar consumo excesivo pudiera ser detectada (fugas, cortos circuitos, etc.). Esto contribuirá de manera en ahorros, económicos de parte del usuario y en la gestión de sus recursos por parte de la empresa.

Procesos de mejora en el manejo de desechos y contaminantes.

En la actualidad se están iniciando programas de naturaleza *pay-as-you-throw*¹³, donde los ciudadanos pagan por el servicio de recolección de basura en función de la cantidad de desechos sólidos que generan. El uso de tecnologías digitales para monitorear y controlar este proceso ha reportado reducciones de los desechos sólidos por persona desde un 10 a un 20% [PwC (2021)]. Estas estrategias, acompañadas de campañas de reciclado pueden contribuir de manera relevante a la conservación del medio ambiente, sobre todo en las grandes ciudades. La operación de estos sistemas puede basarse en las facilidades que la plataforma 5G ofrece.

Reducción de las fugas de agua.

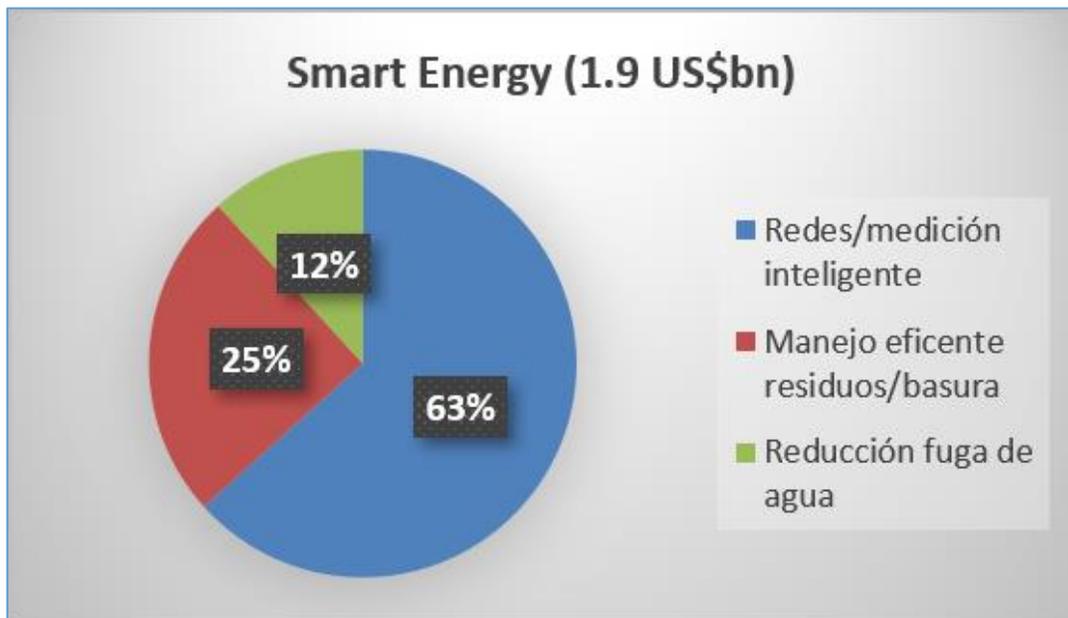
Los recursos hídricos son cada vez mas un bien escaso, y todo parece indicar que esta tendencia continuará en los siguientes años. Por medio de las nuevas tecnologías que conforman la plataforma 5G, como el IoT y la inteligencia artificial, es viable el desarrollo de esquemas de utilización de este recurso de manera mas eficiente. De acuerdo con estimaciones, el uso de sensores y la analítica de datos correspondientes puede disminuir las perdidas de agua en un 25%. Para el caso de nuestro país, esto toma especial relevancia si se considera que casi el 40% del agua potable que llega a la

¹³ <https://archive.epa.gov/wastes/conservation/tools/payt/web/html/index.html>

Ciudad de México se desperdicia en fugas¹⁴. Las oportunidades de mejora y negocio están sobre la mesa.

De acuerdo con lo anterior, se estima que de manera global el impacto sea de alrededor de US\$ 300 billones para el 2030, considerando un estimado de US\$ 8 billones para los países de LATAM. Con base a lo anterior se estima que para nuestro país este sector contribuirá con casi US\$ 2 billones, con la distribución descrita en la Gráfica 11

Gráfica 11. Aportación del sector al PIB al incorporar 5G. México 2030.



V3 Consumo y la industria de medio

Las comunicaciones móviles han jugado un papel de particular relevancia en la industria del consumo y la industria de los medios. Esta relevancia ha sido aún mayor en el marco de la actual pandemia sanitaria. A nivel global se estima que un 63% de los usuarios hicieron compras de comestibles en línea, y de estos el 86% está dispuesto a continuar haciéndolo¹⁵. De esta misma manera, el acceso a redes que ofrecen mayores velocidades impulso aún mas el consumo de contenidos y otros servicios, de modo que se presentan oportunidades para la industria de los videojuegos, la industria del entretenimiento, música y servicios de video OTT. El uso de tecnologías como la realidad aumentada

¹⁴ <https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Proyectos/programa-estrategico-2020-2024.pdf>

¹⁵ PwC, The consumer transformed: Global Consumer Insights Survey 2020, 2020, <https://www.pwc.com/gx/en/industries/consumermarkets/consumer-insights-survey.html>.

con toda certeza dará un giro a los conciertos en vivo (ya en el 2020 un cantante de pop japonesa, creada con base a un holograma y un programa de voz llevó a cabo una gira mundial¹⁶), así como también se espera que el turismo (imaginemos un viaje virtual para ver a la Mona Lisa sin salir de casa), o llevar a cabo una reunión de trabajo conversando con los hologramas de los compañeros de la oficina. Las posibilidades parecen vastas. Para este sector se identifican dos áreas.

Marketing y relaciones con el consumidor en tiempo real.

La tecnología 5G permitirá capturar, almacenar y analizar toda la información relativa a los hábitos y preferencias de consumo, estando en condiciones de desarrollar estrategias de mercadeo y venta mucho más efectivas, enfocadas en el sector de interés, pudiendo al mismo tiempo conocer como evolucionan o cambian los gustos del consumidor. Una persona que llega a un centro comercial puede recibir un mensaje de bienvenida a su teléfono inteligente, e informarle que el restaurante que visita de manera regular preparó hoy su comida favorita, o la librería del lugar le hará saber que el libro que en su visita anterior hojear se encuentra en promoción. Así mismo, por medio de la realidad aumentada, un comprador en línea podrá ver y probarse un par de zapatos que le vio en su tienda online.

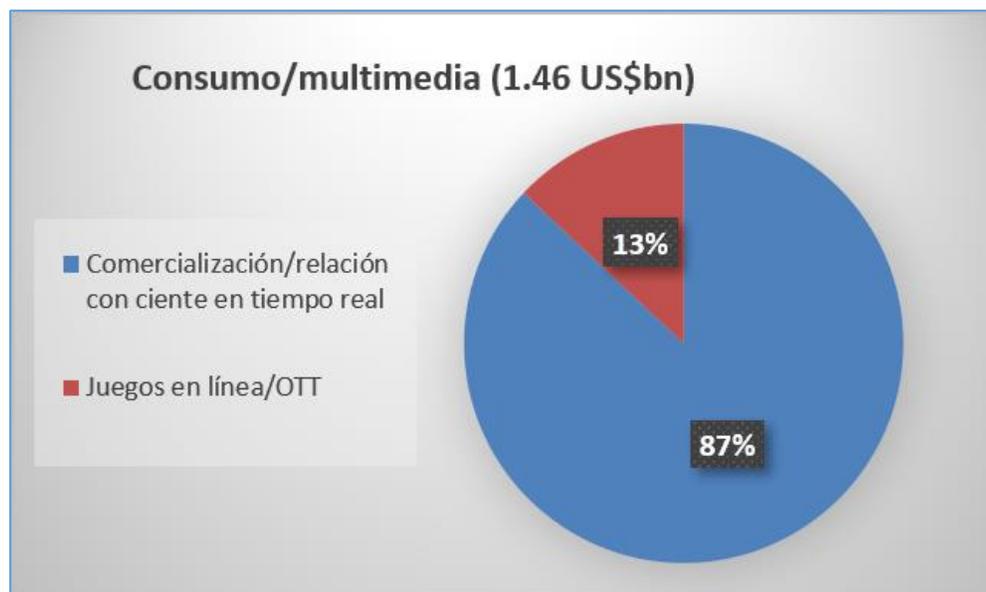
Juegos en línea y servicios OTT

Una de las principales características de los juegos en línea por medio de una plataforma 5G es que el equipo que el usuario utiliza para acceder al juego no necesitar tener la capacidad computacional que el juego requiere. Toda esta capacidad se encuentra en la plataforma, haciendo uso de la computación en el borde, que garantiza la latencia requerida por el juego. Las capacidades de la red ya esta permitiendo el desarrollo de juego en línea inmersivos, donde el usuario literalmente es parte del mismo. El desarrollo de los e-sports, y aplicaciones que hagan uso de tecnología 3D para capacitación y educación a distancia seguirán incrementándose.

De manera global se espera un impacto en el PIB de US\$ 250 billones, con un impacto para los países de LATAM de aproximadamente US\$ 6 billones. En este caso, para nuestro país se estimaría un impacto de cerca de US\$ 1.5 billones. Gráfica 12.

¹⁶ <https://www.20minutos.es/noticia/4136824/0/hatsune-miku-estrella-del-pop-holograma-no-llena-su-concierto-en-barcelona/>

Gráfica 12. Aportación del sector al PIB al incorporar 5G. México 2030.



V4 Manufactura Industrial

En este sector, las tecnologías digitales están siendo la base para el desarrollo de procesos de mejora, que permitan incrementar la eficiencia en la productividad, así como a lo largo de la cadena de suministro. De este modo, en caso de mejoras o cambios en el proceso de producción, las celdas de manufactura que integran una línea de producción pudieran incorporar estas actualizaciones en línea, en cuestión de unos cuantos minutos. Esta actualización se pudiera gestionar desde una oficina localizada fuera de la planta de producción y pudiera hacerse a todas las plantas que la empresa gestionara a lo largo de una nación, o incluso en diferentes países. El monitoreo de la operación de los procesos permite también llevar a cabo procesos de evaluación del rendimiento, detección oportuna de oportunidades e incluso estrategias de mantenimiento preventivo para evitar paros en la producción, accidentes o daños mayores. Dentro de los sectores que se consideran, se describen los siguientes.

Robots y vehículos autónomos

Las funcionalidades de lo que la cuarta revolución industrial¹⁷ describe pueden tomar como la base de su desarrollo a las plataformas 5G. La autonomía en la operación de los vehículos dentro de una

¹⁷https://docs.ufpr.br/~jrgarcia/macroeconomia_ecologica/macroeconomia_ecologica/Qu%C3%A9%20es%20la%20cuarta%20revoluci%C3%B3n%20industrial.pdf

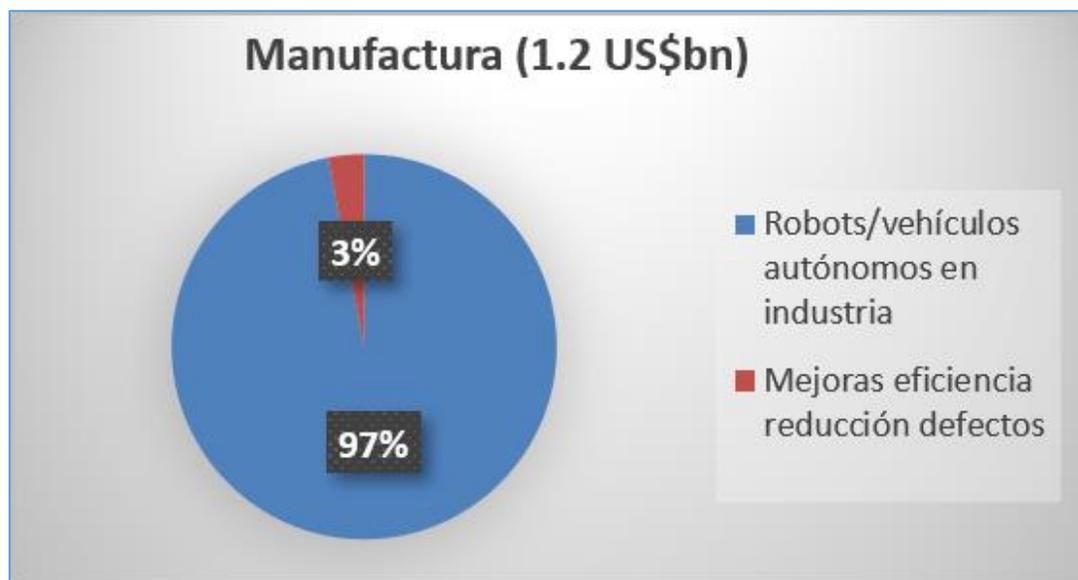
fábrica permitirá el movimiento seguro de materiales y productos, haciendo uso de la inteligencia artificial para optimizar rutas y tiempos de proceso, la realización de procesos repetitivos con la mayor precisión, la integración de toda la cadena de producción, sin apenas la intervención humana.

Mejora en la eficiencia y reducción de defectos

La automatización permitirá la realización de procesos repetitivos con la mayor precisión, la integración de toda la cadena de producción, sin apenas la intervención humana. Esto reducirá de manera relevante fallas y accidentes debidas al factor humano. Esta eficiencia se verá también reflejada en la calidad de los productos fabricados y en la optimización en el uso de las materias primas, mejorando con esto la rentabilidad de la industria.

De manera global se estima un impacto de alrededor de US\$134 billones, correspondiendo a la región de LATAM un aproximado de US\$ 5 billones. De acuerdo con estos datos, se esperaría que un potencial impacto para México podría estar alrededor de US\$1.2 billones. Gráfica 13.

Gráfica 13. Aportación del sector de la manufactura industrial al PIB al incorporar 5G. México 2030.



V5 Servicios Financieros.

Sin duda la seguridad en los servicios bancarios y financieros representa un elemento clave en la penetración de estos servicios. Las plataformas 5G, haciendo uso de algoritmos de validación de usuarios y técnicas para detección de actividades fraudulentas, permitirá la implementación de sistemas más seguros.

En la actualidad, existe un auge de empresas financieras con base tecnológica (Fintech) que buscan evolucionar los servicios bancarios tradicionales, buscando sectores tradicionalmente no atendidos y con base a modelos de negocio que disminuyen sus costos vía la eliminación de la necesidad de sucursales físicas y el desarrollo de procesos más eficientes. Estrategias de *crowdfunding* para gestionar financiamientos son una herramienta común para estas plataformas. El impacto se consolida en dos áreas.

Mejora en la experiencia al usuario.

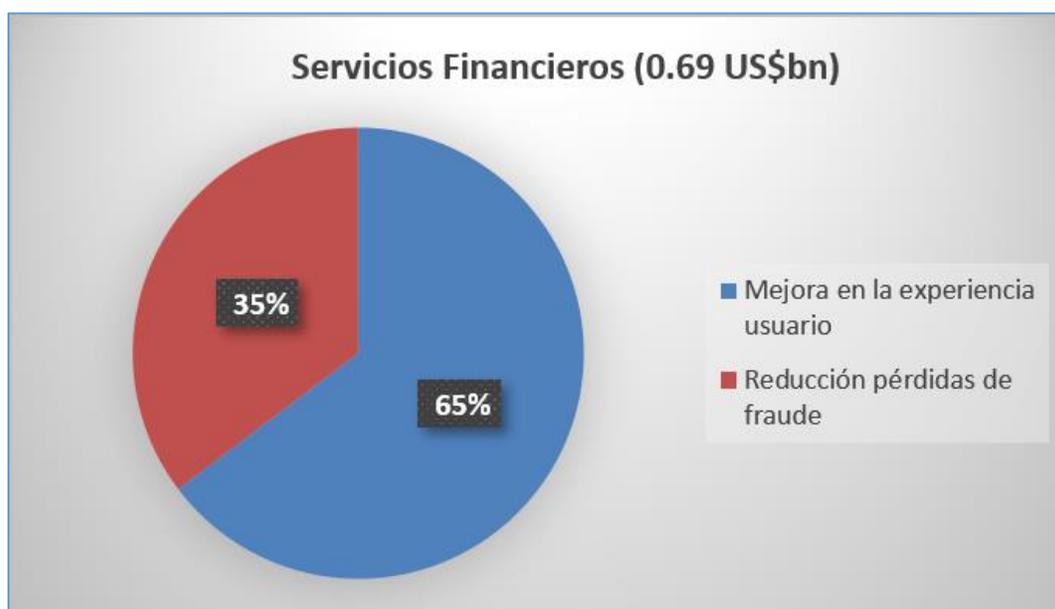
Por medio de la inteligencia artificial, se desarrollarán bots y sistemas que conversarán con los usuarios, asesorando y resolviendo dudas relativas a las operaciones que el usuario desee realizar. El acceso a la información de sus estados financieros en todo momento, así como las estrategias de comunicación de las plataformas con sus clientes puede llevar a cabo ofertas de servicios y atención personalizadas.

Reducción de pérdidas por fraudes.

El uso de biométricos como medio de seguridad permitirá garantizar la seguridad de las operaciones, tanto en cajeros automáticos como en operaciones vía remota por medio de equipos móviles, sin la necesidad de hacer uso de tarjetas para sus operaciones de compra y pago de servicios y/o productos.

De este modo, el impacto en el PIB se distribuye como se indica en la Gráfica 14, siendo este de un total de US\$ 86 billones globalmente. Para el caso de LATAM, el impacto sería de US\$ 3 billones, estimado que para el caso de México se tendría un impacto aproximado de US\$ 0.69 billones.

Gráfica 14. Aportación de los servicios financieros al PIB al incorporar 5G. México 2030.



VI. Conclusiones

Los beneficios de las redes 5G dependerán del nivel de desarrollo de la infraestructura que cada país presenta en la actualidad. Para el caso de nuestro país, se esperaría contar con una red 5G consolidada en un plazo de 7 años y con inversión de aproximadamente US\$ 37.4 billones.

Las frecuencias de operación que se contemplan para las redes 5G y la tecnología involucrada permite estimar que para una misma área de cobertura será necesaria una cantidad invertida entre 3 y 10 veces más que en el caso de las generaciones previas. Sin embargo, en el análisis de viabilidad de las redes 5G se debe considerar que los mayores ingresos se enfocaran en el desarrollo de aplicaciones y usos industriales. Esto podría cambiar la concepción de que en zonas poco pobladas, las redes móviles no son económicamente viables. Si estas zonas pueden impulsar actividades productivas como la agricultura y la ganadería, las redes móviles pudieran ser cada vez más viables. Sin embargo, este hecho requiere un análisis con mucha mayor profundidad.

Muchas de las oportunidades que 5G presenta para las industrias pueden reposicionar el papel de los operadores de telecomunicaciones, si estos pueden participar de manera directa en el desarrollo de plataformas que le generen el valor agregado a la información recabada.

En el caso de México, si bien el impacto que reporta PwC es mayor para el sector de la salud que para el caso de la manufactura, se recomienda considerar que el grado de madurez y participación en el mercado internacional de las empresas mexicanas en sectores como el industrial pudiera materializarse de manera más inmediata y con mayores impactos los beneficios estimados.

En general se mencionan las siguientes recomendaciones:

- Si bien el IFT ha hecho su labor respecto a la identificación, reorganización y disponibilidad del espectro para redes 5G, el costo por el mismo puede ser un obstáculo para alentar el desarrollo de estas redes. Los modelos donde el precio que se paga por los derechos de uso del mismo se utilizaran para invertir en infraestructura podrían revisarse.
- La existencia de diferentes regulaciones locales para el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones dificulta su desarrollo, es un tema actual que no es específico de las redes 5G, pero que sin duda puede obstaculizar su desarrollo. Se recomienda que el IFT continúe y refuerce sus acciones encaminadas a promover políticas públicas en materia de infraestructura se enfoquen a promover un mayor despliegue que permita llevar los servicios a más personas y con mejor calidad (micrositio de despliegue de infraestructura)¹⁸.

¹⁸ <https://despliegueinfra.ift.org.mx/>

- En la actualidad la calidad de los servicios de las comunicaciones móviles se basa en la identificación de los niveles de velocidad (relacionado con el ancho de banda) y latencia. Sin embargo, en el marco de las prestaciones y facilidades innovadoras que las redes 5G ofrecen, se recomienda integrar a estos indicadores: velocidad de transmisión por unidad de área, calidad de la experiencia (*QoE*) del usuario, densidad de conexiones o eficiencia energética.
- La rentabilidad de las redes se puede incrementar promoviendo desde los sectores privados y gubernamentales actividades de experimentación y desarrollo de nuevos modelos de negocio, por medio de la creación de un Campus de redes experimentales (Campus 5G), impulso de esquemas de Sandboxes regulatorios, actividades de I+D+I (investigación, desarrollo e innovación), entre otras.
- Analizar las tasas impositivas de los servicios de telecomunicaciones, SIMS, equipos, etc., con el objeto de que no representen un obstáculo para su uso.
- Continuar con los trabajos de fortalecimiento de la regulación de modo que se aprovechen y promuevan las asignaciones verticales de espectro. El Instituto ha emprendido acciones dentro del ámbito de su competencia para tratar de incorporar nuevas tecnologías y servicios por medio de propuestas de modificación a los lineamientos vigentes para el uso secundario del espectro¹⁹.
- La caja de herramientas (Spectrum Toolbox) que ofrece la plataforma 5G, así como el uso de bandas con diferentes capacidad y condiciones de interferencia y transmisión, puede potenciar estrategias complementarias de gestión de este recurso.

¹⁹ http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/comunicado63ift_0.pdf

Bibliografía.

Ignacio Mártil. (2018). Microelectrónica. La historia de la mayor revolución silenciosa del siglo XX. Madrid, España: Ediciones Complutenses.

Ericsson. (2018). Troubleshooting made easier with augmented reality. Dec 1 2021, de Ericsson Sitio web: <https://www.ericsson.com/en/news/2018/1/5g-manufacturing---tallinn>

N A D (2021). La cirugía a distancia ya es un hecho gracias al 5G. Dec 1 2021, de Amerca Digital News Sitio web: <https://news.america-digital.com/la-cirugia-a-distancia-ya-es-un-hecho-gracias-al-5g/>

CB INSIGHTS. (2021). What Is 5G? Understanding The Next-Gen Wireless System Set To Enable Our Connected Future. Nov 30 2021, de CB INSIGHTS Sitio web: <https://www.cbinsights.com/research/5g-next-gen-wireless-system/>

Raquel Forés. (2020). TECNOLOGÍA 5G AL SERVICIO DE LA SALUD. Nov 30, 2021, de Vodafone Sitio web: https://www.fundacionmercksalud.com/wp-content/uploads/2020/03/2.9.-TECNOLOGIA-5G.-Raquel-For%C3%A9s_Vodafone.pdf

KPMG (2019). “Ofreciendo los beneficios del 5G para clientes empresariales”, KPMG Consulting.

G.P. Fettweis. (March 2014). The tactile internet: Applications and challenges. IEEE Vehicular Technology Magazine, 9, no. 1, 64-70. Dec 2021, De IEEE Base de datos.

METIS. (2015). Update scenarios, requirements and KPIs or 5G mobile and wireless system with recommendation for future investigations. Dec 2021, de METIS Sitio web: www.mwtia2020.com/documentts/deliverables/

Fomento. (2018). Plan Estratégico para el desarrollo civil de los drones en España. Nov 2021, de Ministerio de Fomento. España Sitio web: <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7B974E30-2BD2-46E5-BEE5-26E00851A455/148411/PlanEstrategicoDrones.pdf>

Microsoft. (2015). Farmbeats: AI, Edge & IoT for Agriculture. Nov 2021, de Microsoft Sitio web: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/>

PwC. (2021). The global economic impact of 5G. Dic 2021, de PwC. <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/publications/economic-impact-5g.html>

OMDIA. (2021). 5G: Oportunidades para América Latina. BCN2021 LATAM SUMMIT, I, 1-43. Dec 2021, De OMDIA Base de datos.

Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (2018) “Plataformas Digitales y Competencia en México”