



Potenciando la innovación 5G

Co-creación de una guía
de implementación

**International
Digital Dialogues**
Shaping digital
policy together

Publicado por:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40
53113 Bonn, Deutschland
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 - 5
65760 Eschborn, Deutschland
T +49 61 96 79-0 F +49 61 96 79-11 15
E info@giz.de | www.giz.de

Secretariado del Diálogo Digital entre México y Alemania

Agencia de la GIZ en México
Torre Hemicor, PH
Av. Insurgentes Sur No. 826
Col. Del Valle C.P. 03100, CDMX, México
T +52 55 5536 2344
F + 52 55 5536 2344 E
giz-mexiko@giz.de www.giz.de/mexico

Versión

Digital diciembre de 2023

Elaboración y edición:

Maria de la Mercedes Ruiz Gonzales, Guillermo Ortega Rance (NTT Data México)
Diseño "NTT Data" por Miguel Ángel García Cañibe, México

**Supervisión y Coordinación:**

Ofelia Schödl, Daniel Solterbeck (Secretariado del Diálogo Digital entre México y Alemania)

Créditos fotográficos:

Manuel Geissinger, Pexels
Metamorworks, shutterstock
Pixabay, Pexels
Redpotencia
ThisIsEngineering, Pexels
Zhang kaiyv, Pexels
Cottonbro Studio, Pexels

La GIZ es responsable del contenido de la presente publicación

En nombre de:

El Ministerio Federal de Asuntos Digitales y Transporte de Alemania (BMDV)



Implemented by

**En colaboración con:**

La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes



Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no representan la opinión de la GIZ ni del gobierno alemán.

Autores y colaboradores

Autores

- Guillermo Ortega Rance, NTT Data
- Mercedes Ruiz González, NTT Data
- Adrián Hernández Arredondo, NTT Data

Instituciones colaboradoras

Queremos expresar nuestro agradecimiento a todos los participantes de talleres y entrevistas por sus valiosas contribuciones a este estudio sobre la tecnología 5G en México. Sus conocimientos y perspectivas enriquecieron de manera fundamental nuestra investigación. Agradecemos su dedicación, que ha sido esencial para comprender los desafíos y oportunidades asociados con la implementación del 5G. Este trabajo refleja su valiosa contribución. Algunos colaboradores son:

- Antonia Döring, GIZ
- David Romero, TEC de Monterrey
- Gerardo Pérez, Siemens
- Gonzalo Girault, Disandat
- Gustavo García, Skye Group
- Jorge de Jesús Lozoya Santos, TEC de Monterrey
- José Antonio Ramos Pulido, Teléfonos de México
- José Luis Solleiro Rebolledo, Universidad Nacional Autónoma de México
- Nanghelly Silva, Consejo Coordinador Empresarial
- Paulino Vacas, Mine KPIs
- Ricardo Anaya, Qualcomm
- Ricardo Ibáñez, Siemens
- Susana Cruz Soriano, Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes

Lista de abreviaturas y siglas

- **AI** - Artificial Intelligence
- **AR** - Augmented reality
- **BMS** - Building Management System
- **BNetzA** - Agencia Federal de Redes de Alemania
- **CMMS** - Computerized Maintenance Management System
- **DSIM** - (Data Center Infrastructure Management
- **eMBB** - Banda Ancha Móvil Mejorada
- **GIZ** - Cooperación Técnica Alemana
- **IoT** - Internet of Things
- **KPIs** - Key Performance Indicators
- **mMTC** - Comunicación Masiva de tipo Máquina
- **SICT** - Secretaría de Infraestructura, Comunicación y el Transporte
- **TIC** - Tecnologías de la Información y la Comunicación
- **3GPP** - 3rd Generation Partnership Project
- **5G**- quinta generación de redes móviles, con velocidades de datos más rápidas, menor latencia y mayor capacidad. Existen diferentes conceptos referentes al 5G:
 - *Innovación 5G*: desarrollo de nuevos productos, servicios y procesos basados en la tecnología 5G.
 - *Casos de uso 5G*: aplicaciones específicas que se pueden implementar con la tecnología 5G.
 - *Conectividad 5G*: capacidad de las redes 5G para conectar dispositivos y personas.
 - *Tecnología 5G*: conjunto de tecnologías que permiten la implementación de redes 5G.
 - *Proyectos 5G*: iniciativas para el desarrollo y despliegue de redes 5G.

Contenido

1. Introducción	1
2. Situación de contexto	1
2.1 Sector de telecomunicaciones y tecnología 5G en México	1
2.2 Relevancia de la tecnología 5G	2
2.3 Beneficios de un Ecosistema de Innovación 5G	3
3. Casos de uso	4
3.1 Educación: conectividad en áreas remotas (México)	4
3.2 Data centers: habilidades de 5G (México)	6
3.3 Manufactura: laboratorios, gemelos digitales y logística inteligente (México)	7
3.4 Ciudades inteligentes: Querétaro (México)	8
3.5 Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (México)	9
3.6 El caso de CampusOS (Caso Alemania)	10
3.7 Caso FRMS (Caso Alemania)	12
4. Áreas de oportunidad	13
4.1 Gobierno	13
4.2 Academia	14
4.3 Empresa	14
4.4 Sociedad	15
5. Guía de implementación	15
5.1 Mecanismos de coordinación y colaboración	15
5.2 Una visión estratégica nacional consensuada	15
5.3 Inversión conjunta y coordinada	16
5.4 Impulso a la innovación y educación	16
5.5 Inclusión de la sociedad	17
6. Llamado a la acción	17
7. Referencias	18

1. Introducción

La iniciativa de co-crear una guía de implementación de 5G en México con los actores protagonistas y sentar las bases de un ecosistema de innovación surge del Diálogo Digital bilateral entre el Gobierno alemán, representado por el Ministerio Federal de Asuntos Digitales y Transporte (BMDV, en sus siglas en alemán); y el Gobierno mexicano, representado por la Secretaría de Economía y en cooperación con la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT). Por encargo de la BMDV el Secretariado del Diálogo Digital es implementado por la Cooperación Técnica Alemana (GIZ) en México, quién a su vez facilitó la elaboración de este documento con el fin de contribuir en la divulgación de casos de uso exitosos y mejores prácticas para impulsar el desarrollo de la tecnología 5G en México a través de la innovación.

La información contenida en esta guía es el resultado de dos talleres de co-creación; el expertise e investigación de NTT Data, el Secretariado del Diálogo Digital y la SICT; y cerca de una docena de entrevistas con un grupo de actores que hoy protagonizan desde distintos frentes la implementación de casos que utilizan o podrían utilizar en un futuro cercano la tecnología 5G tanto en México como en Alemania.

Tanto en talleres como en entrevistas, se estructuraron las conversaciones con tres objetivos:

Primero, identificar, explorar y priorizar formas de usar conectividad 5G con énfasis en los principales ámbitos de actividad en donde globalmente se está usando 5G, como lo son manufactura, salud, transporte, energía y educación, pero dejando abierta también la posibilidad de incluir otras aplicaciones.

Segundo, generar discusiones constructivas respecto a los principales desafíos y áreas de oportunidad en el proceso de implementar casos de uso de la tecnología 5G segmentándolas desde la perspectiva de los tres tipos de actores de la triple hélice – gobierno, academia y empresa – a los que también sumamos el punto de vista de la sociedad.

Tercero, plantear recomendaciones puntuales para incrementar la implementación de casos de uso de 5G en México a partir de los casos de uso identificados y priorizados, y de las áreas de oportunidad identificadas.

El presente documento es el resultado de estas conversaciones, en el que se recogen una serie de casos diversos en México y Alemania, así como aplicaciones en el ámbito internacional, que marcan la pauta de por dónde se puede seguir desarrollando el uso de 5G. Asimismo, se hacen recomendaciones para que el gobierno mexicano de acuerdo con sus atribuciones y en colaboración con la empresa y la academia, genere condiciones propicias para la innovación con esta tecnología.

El llamado a la acción más importante que se deriva de todo el ejercicio es que para aprovechar las ventajas que tiene la tecnología 5G, los sectores de gobierno, academia, empresa y sociedad tienen que colaborar, aprender y avanzar juntos con una visión consensuada. Este trabajo de innovación no solo generará beneficios económicos, sino que también impulsará el desarrollo local y nacional.

En cuanto a cómo se aterriza este llamado a la acción en cada uno de los protagonistas proponemos las líneas de actividad concretas que se detallan después en el documento con respecto al gobierno, academia, empresas y sociedad.

2. Situación de contexto

2.1 Sector de telecomunicaciones y tecnología 5G en México

En los últimos diez años México ha avanzado significativamente hacia una conectividad total, gracias a las políticas gubernamentales implementadas en la última década y media. Según la Asociación de Internet, en México en 2022 el 81% de la población mexicana mayor de seis años tenía acceso a internet, lo que representa 96.87 millones de internautas en México y un aumento de 9% con respecto al año 2021. Sin embargo, persisten notables desigualdades regionales con los municipios del norte y centro del país como líderes en cobertura, en comparación con los del sureste que muestran niveles más bajos. Estas diferencias se acentúan por la correlación que existe entre el relieve geográfico y la extensión de la cobertura (The CIU & GIZ, 2022).

De la mano con la expansión de la conectividad, se observa en México un constante aumento en la adopción y contratación de servicios en el sector de las telecomunicaciones. Derivando en la generación de mayores ingresos para los operadores en los sectores de servicios fijos, móviles y de televisión de pago. Durante el 3er trime-

stre de 2023, el sector móvil exhibió un notorio dinamismo al generar ingresos por \$84.2 millones de pesos, representando el 58.8% del total sectorial de Telecom. Este rendimiento se debe principalmente a la recuperación en la venta de equipos, derivado de mejores condiciones de financiamiento proporcionadas por los operadores, con un crecimiento del 13.6% respecto al trimestre anterior. Además, se complementa con la continua intensificación del consumo de servicios, que experimentó un aumento del 3.9% contra el trimestre anterior (Piedras, 2023).

En cuanto al estado de la implementación de la tecnología 5G, uno de los eventos más recientes en explorar avances fue el 5G Americas Analyst Forum 2023. A partir de los análisis publicados en este foro, se resalta que a nivel mundial se anticipa superar los 1.5 mil millones de conexiones 5G este año, lideradas por Estados Unidos y Canadá con un 41% del total de conexiones móviles. En contraste, Latinoamérica experimenta un rezago significativo, registrando tan solo un 1% de conexiones 5G al concluir el segundo trimestre de 2023 (Piedras, 2023).

En el foro se hizo hincapié en la necesidad de acelerar los esfuerzos para asignar el espectro radioeléctrico óptimo, especialmente en las bandas medias, y se subrayó la

2.2 Relevancia de la tecnología 5G

La razón por la que se ha puesto interés en la implementación de 5G es la importancia que tiene como tecnología habilitadora crítica para la ola de innovación en curso que combina internet de las cosas, computación en la nube e inteligencia artificial. Se muestran a continuación algunas de las características más importantes de esta tecnología:

Conectividad y cobertura: Esta tecnología tiene el potencial de revolucionar la transferencia de datos y permite una mejor cobertura. La red 5G tiene mayor ancho de banda al utilizar frecuencias de onda milimétricas y submilimétricas lo cual asegura mayor cantidad de datos a velocidades más rápidas. 5G ofrece un ancho de banda de hasta 10 gigabits por segundo (Gbps), mientras que el ancho de banda de 4G es típicamente de 100 megabits por segundo (Mbps). Adicionalmente, la 5G cuenta con mayor capacidad de conexión al estar diseñada para manejar una mayor cantidad de dispositivos conectados simultáneamente en comparación con la 4G. En términos de cobertura, 5G ofrece una cobertura más amplia que 4G. Esto se debe a que 5G utiliza una serie de nuevas tecnologías, como las ondas milimétricas, que permiten a las redes cubrir áreas más grandes. Esto es esencial a

medida que aumenta el número de dispositivos IoT (Internet de las cosas) y la demanda de conectividad en entornos urbanos densos.

Confiabilidad y seguridad: La red 5G ofrece mayor confiabilidad y seguridad que la 4G debido a la implementación de tecnologías avanzadas, como el cifrado mejorado, la autenticación más sólida y protocolos de seguridad mejorados. Además, la 5G utiliza arquitecturas de red más seguras y está diseñada con características que reducen la vulnerabilidad a ataques, lo que contribuye a una mayor integridad y privacidad de los datos transmitidos. Con el monitoreo en tiempo real de equipos y la capacidad de responder rápidamente a incidentes de amenaza, se garantiza la seguridad tanto de los trabajadores como de las operaciones.

Ahorro en costos y mayor eficiencia energética: La 5G utiliza técnicas más avanzadas de gestión de energía, lo que se traduce a un uso más eficiente de la energía en comparación con la 4G. Esto es beneficioso tanto para dispositivos móviles como para la infraestructura de red. Los conjuntos de chips 5G brindan una amplia cobertura y mejoras en la capacidad, lo que reduce los requisitos generales de hardware de la red. Contar con redes 5G puede llevar a ahorros a largo plazo al evitar las tarifas de servicios de operadores. Además, la capacidad de realizar análisis de datos en tiempo real, analítica predictiva y la identificación de amenazas y áreas de mejora promueve el ahorro de costos. Los ahorros específicos en costos que pueden lograr las empresas varían según la industria y el escenario específico. Sin embargo, algunas estimaciones sugieren que las empresas podrían ahorrar entre un 25% y un 50% en costos de infraestructura y operaciones al migrar a 5G.

Baja latencia: se refiere al tiempo que tarda un dispositivo en enviar datos a otro dispositivo en la red. La 5G tiene una latencia significativamente menor en comparación con la 4G, lo que significa que hay menos demora en la comunicación entre dispositivos. 5G ofrece una latencia de hasta 1 milisegundo, mientras que la latencia de 4G es típicamente de 30 a 40 milisegundos. Una mayor eficiencia en la transmisión de datos en las redes 5G permite la supervisión en tiempo real y la capacidad de desencadenar acciones en respuesta a datos críticos.

Flexibilidad y personalización: la red 5G brinda la flexibilidad para personalizar las redes privadas de acuerdo con las necesidades específicas de cada industria, lo que es vital para adaptarse a entornos industriales en constante evolución. Una red privada 5G es una red móvil que funciona de manera similar a la red 5G pública, con la diferencia de que el dueño puede proporcionar acceso limitado y utilizar bandas de frecuencia con o sin licencias.



© Zz Pexels

2.3 Beneficios de un ecosistema de innovación 5G

Acelerar la implementación de 5G en México de acuerdo con un plan estratégico a largo plazo articulado por un ecosistema coordinado puede ser un catalizador para el desarrollo integral a través de mayor innovación, eficiencia y competitividad en sectores clave de la sociedad.

Entre los principales beneficios de contar con un ecosistema de innovación 5G con una visión alineada se encuentran:

Desarrollo económico: creación y evolución de empleo en el sector de las telecomunicaciones y el fomento de nuevas oportunidades de negocio en torno a servicios y aplicaciones 5G.

Eficiencia en servicios públicos: orientar el conocimiento académico y la iniciativa empresarial hacia la implementación de soluciones inteligentes a retos públicos como la gestión del tráfico, la seguridad ciudadana y la administración de recursos.

Innovación y nuevos modelos de negocio: conectar mejor el conocimiento con aplicaciones 5G viables y de alto impacto en las que colaboren instituciones académicas, startups y empresas grandes con tracción sectorial.

Competitividad global: incrementar la adopción de tecnologías transformacionales como 5G y sus aplicaciones tiene un efecto positivo en la competitividad tanto de las empresas mexicanas en lo particular, como a nivel re-

gional y nacional, y abre las puertas a participar en una creciente economía digital global.

Conectividad avanzada: se pone en valor la inversión realizada en infraestructura 5G por las empresas de telecomunicaciones para transformar una conectividad más rápida y confiable en servicios de alto valor añadido como la telemedicina, las ciudades inteligentes, la educación digital avanzada, el desarrollo de metaversos y experiencias inmersivas y las aplicaciones de cuarta revolución industrial en las fábricas y cadenas de suministro.

En términos generales, contar con ecosistemas de innovación contribuye a generar círculos virtuosos en los que la planeación estratégica a largo plazo y la dinamización del gobierno habilitan un entorno propicio para que la academia desarrolle habilidades y conocimiento específicos que se conecten con la inversión y orientación a negocio de las empresas para generar casos de uso con 5G que sean escalables y generen valor para toda la sociedad.



@metamorworks shutterstock

3. Casos de uso

3.1 Educación: conectividad en áreas remotas (México)

Para comprender este caso de uso, es esencial tener conocimiento del contexto educativo en el país. En México, acorde al Coneval, aproximadamente 55.7 millones de personas que equivalen al 43.9% de la población total, viven en condiciones de pobreza multidimensional. Una gran proporción de esta población reside en comunidades marginadas que carecen de acceso adecuado a servicios esenciales como alimentos, vivienda, atención médica y educación. Estas limitaciones generan una falta de cohesión social y contribuyen a un ciclo de pobreza, donde los ciudadanos enfrentan dificultades para ejercer sus derechos y libertades, manteniéndose en un entorno difícil de salir.

Para evaluar el caso de uso de la tecnología 5G en la educación, se examina como ejemplo el proyecto ganador en la cuarta categoría de los Premios de la Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información 2023. El objetivo del proyecto denominado “Conectividad Móvil para Maestros en Áreas Pobres y Remotas” es establecer

conexiones en estas comunidades para promover el acceso equitativo y el desarrollo social de todas y todos los mexicanos. El proyecto busca facilitar la conexión de Maestros y Maestras de Educación Comunitaria a la Red Compartida de México.

Los participantes principales de este proyecto son:

- **Edilar:** Empresa mexicana de tecnología educativa centrada en servir a los maestros. Edilar es Socio de Google for Education y Operador Móvil Virtual de Altán, la Red Compartida de México.
- **CONAFE:** Organismo perteneciente a la Secretaría de Educación Pública de México (SEP) cuya misión es proporcionar servicios educativos en las áreas más empobrecidas, desfavorecidas y remotas del país, en situaciones en las que la SEP no cuenta con la capacidad para establecer instituciones educativas públicas, desfavorecidas y alejadas del país, en situaciones en las cuales la SEP no tiene la capacidad de establecer instituciones educativas públicas.

La solución que se diseñó e implementó en conjunto implica equipar a los “Líderes de Educación Comunitaria” (grupo de voluntarios compuesto por estudiantes de

educación superior y mujeres jóvenes de las comunidades) con banda ancha móvil y una cuenta de Google Workspace for Education. Ambos se utilizan para implementar el modelo de tutoría ABCD (un conjunto revolucionario de técnicas de enseñanza y aprendizaje donde un estudiante aprende de otro estudiante), capacitación y desarrollo de maestros, productividad educativa, colaboración y comunicación, y para brindar apoyo relevante a la Educación Comunitaria.

Como beneficio colateral ayuda a que los “Líderes de Educación Comunitaria” estén más seguros, comunicados y disminuya la deserción en los programas. Adicionalmente, se amplían los servicios a padres de familia y comunidad en general evitando abusos de recarga costosa y en puntos lejanos. De igual manera en la inclusión para acceder a beneficios sociales que brinda el gobierno pero que por la naturaleza del proceso digital a seguir pueden existir barreras de entrada como la asequibilidad o la adaptabilidad.

Los principales resultados de este primer desarrollo para romper el ciclo de pobreza fueron (WSIS prizes, 2023):

- +51,000 maestros y +500,000 estudiantes se benefician del uso de la red (banda ancha móvil 5G) para impartir educación y enriquecer su educación respectivamente.
- El 83% de los maestros beneficiados son mujeres jóvenes
- El 15% de los estudiantes beneficiados son indígenas o nómadas
- +30% más de cobertura de datos móviles gracias a la Red Compartida
- 10 veces más datos mensuales por usuario
- +30 eventos de capacitación a distancia para la Educación Comunitaria
- \$0.38 MXN Uno de los costos por GB más bajos en el mundo

Aún existen barreras y retos para incrementar el impulso del desarrollo sostenible, contribuyendo a la creación de una sociedad más equitativa mediante la conectividad y oportunidades educativas mejoradas para las comunidades más vulnerables y marginadas en todo México.

El problema no radica en la penetración de smartphones sino en la compra de conectividad. Con un solo teléfono conectado se puede conectar a un salón completo ahorrando así los libros, impresiones y su distribución. La conectividad a los docentes efecto multiplicador la conectividad entre jóvenes. Facilitar la concientización de las ventajas

del operador móvil virtual para fomentar menores precios para mantenerse conectados a menor precio.

Una red de mayor potencia como es el caso de la red 5G, permitiría la transmisión de eventos y capacitación a distancia sin interrupciones ni problemas de conectividad. Evitaría costos de rentas y traslados al poder ejecutarlo exitosamente a distancia. Con la evolución 5G se permite sostener transmisiones con muchas más personas conectadas de manera segura para los webinars con audio y video.



3.2 Data centers: habilidades de 5G (México)

Los data centers o centros de datos son el lugar físico donde se almacena la información que está en la nube y su mayor desafío es asegurar la redundancia en cinco ámbitos: energía, enfriamiento, seguridad, protección contra incendios y comunicación. En el caso de la comunicación, la redundancia se asegura físicamente a través de enlaces en todas las zonas para cada rack (estructura que aloja y organiza equipos electrónicos dentro del data center) de cada servidor y contar con el servicio de múltiples operadores de telecomunicaciones para que siempre haya disponibilidad..

La tecnología 5G tiene un impacto positivo para conseguir la redundancia en los data centers porque asegura la transmisión de una gran cantidad de datos y mejora el tiempo de respuesta. La ultra latencia que provee este tipo de conectividad agiliza el procesamiento y la comunicación.

El espacio geográfico donde se ubiquen los data centers tiene cada vez una mayor importancia por la necesidad de acortar la distancia respecto al incremento continuo de número de empresas que utiliza la nube para operar. Incluso se ha desarrollado el modelo de edge computing para acercar el almacenamiento de datos al lugar donde se utiliza esta información.

El riesgo de mayor preocupación actual para los data centers es la falta de modernización de la red de transmisión y distribución eléctrica. En la entrevista con representantes de la Asociación Mexicana de Data Centers se comentó que las empresas que la conforman consumen alrededor de 1600 megawatts, que equivalen a la energía necesaria para alumbrar la ciudad de Querétaro. La falta de un proceso ágil para que las empresas se enchufen directamente a la red eléctrica y la necesidad de obra para que la energía llegue a la instalación deriva en una inversión total muy alta que pone en duda la viabilidad del negocio de un centro de datos en México.

El reto de una mejor infraestructura eléctrica tiene relación con el desarrollo de servicios basados en conectividad 5G porque éstos necesitan de la nube; en este sentido, la nube necesita data centers y éstos requieren un modelo económico viable para operar. Actualmente 80% de las grandes empresas en América Latina ya tienen implementación en la nube (NTT Data, 2023) y se estima que para 2024 el 70% del gasto en TI empresarial en la región sea destinado a tecnología de cómputo en la nube y analítica de datos (Equinix, 2023).

Si los data centers no cuentan con infraestructura adecuada no estarán alineados con las demandas de velocidad para la transmisión y procesamiento de los datos que exigen las aplicaciones basadas en 5G como las de industria 4.0, la telemedicina, los vehículos autónomos y los metaversos.

Los data centers no solo son habilitadores del crecimiento de aplicaciones basadas en 5G, también son usuarios de estos casos de uso como los sensores para el monitoreo de temperatura y humedad, y el mantenimiento correctivo y preventivo a través del machine learning. El uso del 5G puede incrementar la eficiencia de los tres ámbitos de monitoreo utilizados: Sistema de Gestión de edificios (BMS), Gestión de Infraestructura de Data Center (DSIM), Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CMMS).



3.3 Manufactura: laboratorios, gemelos digitales y logística inteligente (México)

El potencial de adopción de casos de uso de 5G en el sector industrial es significativo porque las empresas fabricantes cuentan ya con plataformas básicas de automatización y están intensificando su uso de tecnologías más avanzadas, tales como la inteligencia artificial, la automatización, la realidad aumentada (Augmented reality: AR) y el Internet de las cosas (Internet of Things: IoT) para construir fábricas inteligentes que optimizan sus operaciones y mejoren su rendimiento.

En este ámbito de aplicación identificamos tres casos de referencia que se relatan a continuación.

El primero es el proyecto 5G-Enabled Robotics que tiene como objetivo desarrollar un laboratorio tipo testbed colaborativo y de innovación abierta para divulgar los beneficios de las redes 5G en ambientes industriales.

Este laboratorio de Internet Industrial de las Cosas, Automatización Inteligente y Robótica Colaborativa en el Tec de Monterrey en Ciudad de México (Campus Ciudad de México), que fue un proyecto ganador del Fondo AT&T 5G 100+100, busca acelerar la adopción de redes 5G en la industria y promover el desarrollo de talento a través de la colaboración en la ideación, experimentación y prototipado de aplicaciones industriales 5G.

Algunos de los proyectos que este laboratorio está piloteando son: gemelos digitales, contenedores inteligentes, entrenamiento remoto, monitoreo de equipos industriales, robots móviles autónomos, entre otros. Se trabaja con tecnologías como eMBB y mMTC para crear interfaces inteligentes basadas en inteligencia, IoT y Realidad Mixta en pisos de producción inteligentes.

Entre las actividades que realiza el laboratorio para dar sustento a estos proyectos está:

- [El desarrollo de la tecnología habilitadora](#)
- [La capacitación de profesores para desarrollar habilidades en los alumnos e integrarlos a la actividad del laboratorio](#)
- [La elaboración de modelos de negocio que validen la rentabilidad de los casos de uso](#)
- [Vincular la oferta de los *vendors* de tecnología con las necesidades del mercado](#)

Este caso es el ejemplo ideal de colaboración entre academia y sector privado para probar soluciones de alto potencial con una demanda real de mercado donde cada jugador aporta con un mismo objetivo final.

El segundo caso identificado es Siemens que aprovecha la baja latencia y alta densidad de la conectividad 5G para experimentar con el desarrollo de un digital twin industrial, que además de generar una representación 3D de altísima resolución, también cuenta con datos en tiempo real de los indicadores clave exactos para la toma de decisiones en tiempo real. Este proyecto es la antesala de modelos probabilísticos para predecir comportamiento futuro para tomar acciones preventivas e identificar desperfectos con imágenes y videos de alta resolución.

Los principales desafíos que ha identificado Siemens para escalar la adopción de este tipo de tecnologías en las fábricas es la disponibilidad de red 5G y la obsolescencia de las máquinas en el piso de producción. El espectro está disponible pero falta la inversión necesaria en la conexión y programa de renovación tecnológica que a su vez depende de que existan casos de uso exitosos y comparables que justifiquen la inversión necesaria.

Una práctica que puede contribuir a desmitificar e informar mejor sobre el potencial de este tipo de aplicaciones es la creación de experience centers en donde se demuestren los prototipos y el impacto que tienen en KPIs de una compañía como: rentabilidad, sustentabilidad, incremento en márgenes, menor merma, mejora en condiciones laborales entre otros.

El tercer caso identificado es la solución BlockNode de la empresa Mine KPIs que ofrece generar eficiencias en la lógica de negocios, habilitando la trazabilidad abierta y segura de los productos entre empresas de la cadena de suministro mediante IoT, inteligencia artificial y blockchain usando la Red 5G. El objetivo final es que las empresas usuarias cuenten con información clara, confiable y accesible que les permita hacer predicciones y tomar mejores decisiones. La solución está habilitada por IoT que permite conectar dispositivos a la nube, cómputo de frontera (edge computing) que permite hacer analítica y correr aplicaciones directamente en los puntos donde ocurren las actividades logísticas, blockchain que habilita transacciones seguras, algoritmos de clasificación avanzada y machine learning que permite gestionar la cadena de suministro de manera automatizada.

3.4 Ciudades inteligentes: Querétaro (México)

México es el país en la región de América Latina con mayor número de ciudades que cuentan con características smart en donde se utiliza conectividad para resolver retos de congestión de tráfico, inseguridad, inclusión social y eficiencia en manejo de agua y energía (Gobierno de Canadá, 2021).

Querétaro ha destacado en México por su participación en el desarrollo e implementación de ciudades inteligentes con base en sus fortalezas como la diversidad de sectores industriales presentes, el perfil demográfico dinámico con un promedio de edad de 29 años, el alto número de egresados de carreras vinculadas a la industria digital y la alta penetración en la población de uso de internet y teléfonos inteligentes.

El despliegue del 5G desempeñará un papel crucial en la evolución hacia ciudades inteligentes al proporcionar una conectividad más rápida y confiable. La ciudad de Querétaro ha liderado iniciativas tecnológicas que, respaldadas por el impulso del 5G, tienen el potencial de expandirse en sofisticación y alcance. Se destacan principalmente dos usos:

En primer lugar, en el ámbito de la movilidad, la colaboración con Continental Automotive ha llevado al desarrollo de intersecciones inteligentes, que conectan la señalización de semáforos con cámaras para lograr una auto programación y cruces más dinámicos. La conectividad 5G permite a los semáforos inteligentes ajustar dinámicamente los tiempos de señalización según el flujo de tráfico en tiempo real, mejorando así la circulación vehicular y la seguridad vial en ciudades inteligentes.

En segundo lugar, se observa en los servicios públicos, la implementación de contenedores de basura equipados con celdas solares y sensores ha optimizado la gestión de servicios y recursos. Estos sensores, respaldados por la tecnología 5G, monitorean en tiempo real los niveles de ocupación, permitiendo que un sistema inteligente proporcione información sobre el estado del contenedor para facilitar su recolección. La tecnología 5G posibilita el monitoreo, en tiempo real, de los niveles de llenado en los basureros, mejorando la eficiencia en la gestión de residuos. Estos ejemplos destacan cómo la implementación del 5G impulsa la innovación en la infraestructura urbana, ofreciendo servicios más eficientes y adaptativos a las necesidades de la comunidad.

La ciudad ha mostrado su interés por continuar a la vanguardia creando un centro de innovación, tecnología y creatividad denominado “Bloque” que busca impulsar la industria digital como motor de desarrollo económico y está basado en las 4Es:

- **Educación:** cerrar la brecha digital y evitar que parte de la población se quede rezagada
- **Emprendimiento:** acelerar empresas que se distinguen por su tecnología e innovación
- **Entretenimiento:** desarrollar las actividades del gaming y los eSports
- **Empleo:** formar capital humano con capacidades digitales competitivas



© Zhang Kaiyv, Pexels

3.5 Infraestructura, Comunicaciones y Transportes: “Carreteras inteligentes” (México)

La Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes en México lidera actualmente un análisis respecto a cómo incorporar tecnologías innovadoras, como el 5G, en el ámbito de las infraestructuras viales en los que se identifica la vinculación y colaboración estratégica con otros actores como el Instituto Mexicano del Transporte, concesionarios de carreteras, el Instituto Federal de Telecomunicaciones, operadores de telecomunicaciones, empresas tecnológicas, gobiernos estatales y municipales, así como universidades, institutos tecnológicos y clusters de innovación.

En el contexto de este análisis, se evalúa la posibilidad de lograr a través de la conectividad 5G un mayor control, evaluación y gestión de la infraestructura carretera, mejorando su eficiencia y seguridad. La implementación de “carreteras inteligentes” tiene como objetivo desplegar servicios como la gestión de tráfico en tiempo real, desvíos eficientes en casos de emergencia, notificaciones de estacionamientos y suministros, así como intervenciones rápidas en situaciones de emergencia. Además, facilita el seguimiento del estado de salud de la infraestructura, permitiendo programar mantenimientos preventivos y extraordinarios de manera eficiente.

Aunque la infraestructura carretera tradicionalmente se ha considerado desde una perspectiva de ingeniería civil y estructural, la integración de tecnologías de información avanzada ahora la posiciona como una plataforma propicia para innovaciones que abarcan desde el diseño hasta la gestión habilitada por analítica y automatización. Este enfoque no solo mejora la sostenibilidad, seguridad y eficiencia de las carreteras, sino que también transforma la experiencia de conducción y promueve el desarrollo del sector.

Dentro de las tecnologías emergentes que impulsan los proyectos de carreteras inteligentes, la red 5G emerge como un componente clave. Con velocidades de descarga de hasta 10 Gbps, la quinta generación de tecnología inalámbrica permite la comunicación en tiempo real entre vehículos, infraestructura y otros dispositivos a lo largo de las carreteras. Su impacto se refleja en diversas aplicaciones, como la comunicación vehículo a vehículo (V2V), vehículo a infraestructura (V2I), vehículo a peatón (V2P) y comunicación vehículo con el entorno (V2X).

Para hacer realidad este tipo de aplicaciones, la conectividad 5G se combina con otras dos tecnologías clave:

Primero, el Internet de las cosas (IoT) compuesta por sensores que generan información valiosa y actuadores que transforman señales eléctricas en movimiento, y permiten la conexión e intercambio de datos entre una variedad de dispositivos. Esta red de dispositivos contribuye a la recopilación de datos en tiempo real sobre condiciones de la infraestructura carretera, mejorando la capacidad de identificar riesgos y programar intervenciones preventivas.

Segundo, el Big Data y la analítica de datos, que no solo se refieren al almacenamiento masivo de información, sino que también posibilitan la predicción, sostenibilidad e intercambio eficiente de recursos. La inteligencia artificial (IA) complementa este conjunto de tecnologías, utilizando algoritmos y sistemas de aprendizaje automático para analizar datos en tiempo real, prever el mantenimiento de una vía y gestionar la congestión del tráfico.

Este conjunto de tecnologías emergentes permite construir ecosistemas o entornos inteligentes de carreteras que abarquen desde el monitoreo en tiempo real de las condiciones de la infraestructura para monitorear el estado de uso y el grado de deterioro y programar mantenimientos preventivos, reparaciones, e intervenciones, de manera eficaz, hasta la implementación de proyectos como peajes inteligentes para asignar tarifas individualizadas, según la contaminación de cada coche, el peso o la ocupación y sistemas de visión artificial para detectar posibles infracciones de los conductores, especialmente las relacionadas con exceso de velocidad.

Es recomendable que los actores vinculados a la implementación de casos de uso 5G en infraestructuras carreteras, puedan considerar la división de dichos proyectos en fases para garantizar la viabilidad y escalabilidad, además de establecer las bases para el futuro desarrollo de carreteras más conectadas, seguras, equitativas, sostenibles y eficientes.

3.6 El caso de CampusOS (Alemania)

La creciente importancia de la tecnología 5G se impulsa por el incremento en las necesidades de transformación digital, donde las redes de comunicación desempeñan un papel vital al vincular máquinas, herramientas, productos e individuos en toda la cadena de valor. Esta evolución permite la disponibilidad en tiempo real del conocimiento en todas las operaciones, desplegando la potencia informática exactamente donde se necesita. Aplicaciones esenciales como el acceso remoto, el control de sistemas de automatización industrial, las redes eléctricas inteligentes y la gestión de vehículos autónomos demandan una mayor confiabilidad en los servicios de comunicación y una notable reducción de la latencia. Alemania está trabajando activamente para mejorar sus capacidades 5G, impulsada por un fuerte compromiso de mantener su liderazgo en la industria.

La asignación de frecuencias es crucial en el contexto de la expansión de 5G. En el verano de 2019, la Agencia Federal de Redes de Alemania (BNetzA en sus siglas en alemán) lanzó un proceso de asignación de frecuencias en dos partes para 5G. Primero, una subasta asignó el espectro de frecuencias 5G para uso nacional a los grandes operadores móviles Deutsche Telekom, Telefónica, Vodafone y 1&1 Drillisch.

Posteriormente, se lanzó un proceso de asignación para el espectro 5G local, con la BNetzA reservando 100 MHz adicionales de espectro exclusivamente para redes locales y campus en el rango de 3.7-3.8 GHz. Este procedimiento de asignación permite la asignación exclusiva de bloques de frecuencias a una o más propiedades previa solicitud y sujeta a ciertas condiciones. Esta es la primera vez que muchas empresas industriales tienen la oportunidad de construir su propia red personalizada, diseñada específicamente para sus aplicaciones y necesidades. La asignación temprana de estas frecuencias hizo que Alemania fuera pionera en la operación de redes de campus 5G. Estas ofrecen oportunidades únicas para la especialización, ya que son infraestructuras localizadas y privadas diseñadas para áreas específicas. Esto permite configuraciones de tasas de datos elevadas, baja latencia, conectividad masiva de dispositivos caso por caso. Estas redes potencian a las industrias y campus con conectividad avanzada, posibilitando aplicaciones en tiempo real, implementaciones de IoT e infraestructuras inteligentes.

Actualmente, hay tres opciones probadas para que las empresas establezcan una red de campus en sus propias instalaciones:

1. *Configuran y operan la infraestructura por sí mismas.*
2. *Contratan a un operador de red o un proveedor de red.*
3. *Recurren a proveedores de servicios especializados en configurar y operar redes de campus. Las arquitecturas abiertas resultan útiles, ya que permiten nuevas combinaciones entre estas opciones.*

Las aplicaciones 5G se pueden encontrar en diversas áreas. Los iniciadores y beneficiarios actuales de las redes de campus 5G en Alemania son grandes empresas manufactureras que utilizan 5G para la transición a la Industria 4.0. Otras aplicaciones existen en el sector del transporte, principalmente en puertos y aeropuertos grandes para su logística, así como hospitales que utilizan 5G para la implementación de tecnologías de teleoperación, entre otras. Un último caso de uso relevante es el de las redes de campus móviles 5G, que se pueden establecer en áreas remotas con poca conectividad regular. Esto es interesante, por ejemplo, para sitios de construcción alejados de ciudades y municipios que utilizan satélites como lo ofrece la empresa Starlink (un proyecto de SpaceX). Muchas de estas tecnologías están en su fase inicial y serán cada vez más relevantes en el futuro, lo que hace que el interés temprano en estos segmentos de mercado sea aún más relevante para la industria alemana.

El proyecto de redes de campus ha demostrado ser cada vez más popular dentro de la industria alemana. Según un estudio realizado por Bitkom (asociación alemana para la industria de la información y las telecomunicaciones) en 2022 el 26% de las empresas industriales quieren utilizar redes de campus 5G o ya lo están haciendo. El 7% lo están implementando por sí mismas, mientras que el 19% lo está haciendo a través de un proveedor de red móvil. El segundo enfoque también se conoce como “network slicing”, donde se adquiere una parte exclusiva de la red para su uso exclusivo. El estudio representativo encuestó a 500 empresas industriales alemanas con más de 100 empleados. En este momento, la BNetzA ha concedido 354 solicitudes de frecuencias locales para la configuración de redes locales de campus 5G. Principalmente, empresas conocidas como Siemens, Daimler, KUKA, MAN, Schaeffler, Miele, Audi, BMW, VW y varias universidades y escuelas técnicas. Pero también empresas más pequeñas están siendo incluidas cada vez más.

El gobierno actual tiene un gran interés en promover la configuración de redes de campus. Han reconocido su importancia para mantener la competitividad internacional de las empresas alemanas. Reconociendo que la estandarización sería clave para una expansión 5G

rentable, el Ministerio Federal de Economía y Protección del Clima de Alemania (BMWK) inició el proyecto CampusOS en 2022 con una duración de 36 meses y una financiación de 18.1 millones de euros. El objetivo es establecer un kit de construcción con bloques y planos para una red de campus abierta, virtualizada, segura y personalizada. Esto permite la independencia del fabricante, más competencia e innovación, todos elementos importantes para la soberanía digital de Alemania.

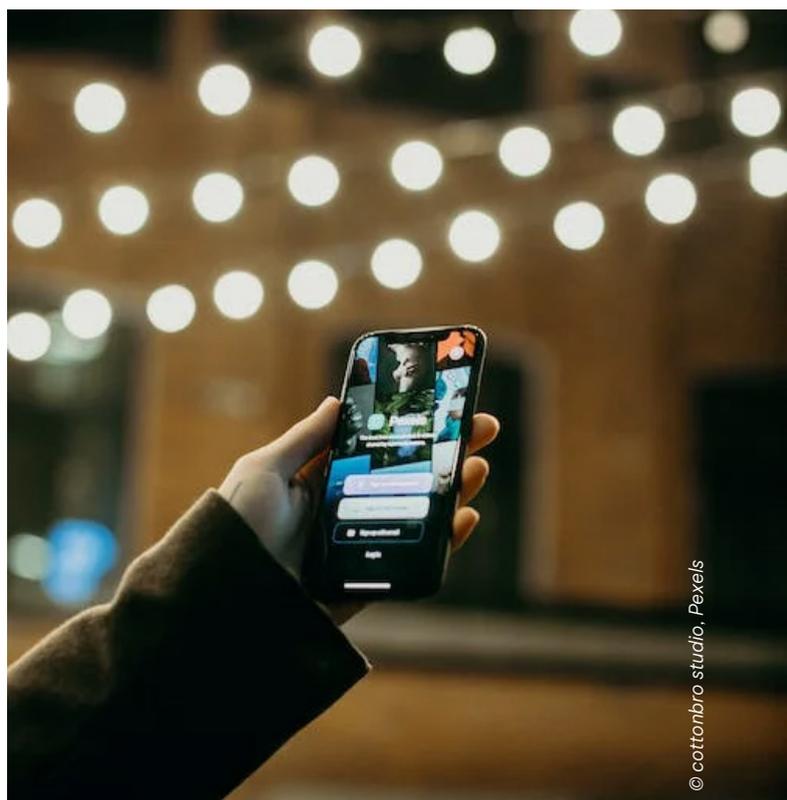
Al igual que las redes móviles, una red de campus consta de una red central (CN) y una red de acceso por radio (RAN) para permitir la conectividad inalámbrica para el equipo de usuario (UE). El proyecto CampusOS intenta incorporar elementos del enfoque Open RAN para lograr un ecosistema altamente flexible. Tradicionalmente, las RAN se han implementado utilizando soluciones integradas y propietarias de hardware y software proporcionadas por un solo proveedor. En Alemania, los componentes 5G son proporcionados por 3 grandes fabricantes (Huawei, Ericsson y Nokia) e implementados a través de los 4 principales operadores de red mencionados anteriormente, lo que les otorga una posición de mercado muy fuerte y deja poco espacio para los intereses de los usuarios. Open RAN, por otro lado, promueve un enfoque de arquitectura más desagregado y abierto donde se intenta separar el software y el hardware. CampusOS se basa en estas interfaces abiertas recién creadas para aumentar la escalabilidad y la adaptabilidad. También son cada vez más importantes para los productores que desean implementar soluciones de inteligencia artificial, por ejemplo, para el mantenimiento predictivo, ya que su integración a menudo no es posible en los sistemas cerrados de los proveedores de red tradicionales o está asociada con costos extremadamente altos.

El proyecto CampusOS está coordinado por los Institutos Fraunhofer HHI y FOKUS. El enfoque es consolidar y supervisar diferentes componentes técnicos que se utilizan para realizar una red de campus 5G abierta y modular. Los componentes no se relacionan únicamente con facilitadores directos de 5G, sino también con todos los demás aspectos involucrados en la configuración de una red de campus 5G, como el monitoreo de extremo a extremo o los componentes de gestión y orquestación de servicios. Los diferentes bloques de construcción se prueban en cuanto a su rendimiento, interoperabilidad y se verifican las arquitecturas de referencia seleccionadas. Todos los resultados se catalogan y se ofrecen planos que demuestran configuraciones óptimas para casos de uso a menudo necesarios. Esto simplifica la configuración de redes de campus 5G para muchas empresas que actualmente no tienen los recursos ni el conocimiento

interno para abordar la complejidad y los costos iniciales a menudo elevados asociados con la configuración de redes de campus 5G. Más información sobre el proyecto se puede encontrar aquí: [Campus-OS – Proyecto Líder](#).

En 2022, el proyecto comenzó con la facilitación de la cooperación interna, así como el apoyo a las actividades de desarrollo y prueba. En 2023, la colaboración se extendió al ecosistema del proyecto. Ahora, los proyectos colaboradores pueden acceder a información sobre los componentes, bancos de pruebas y planos. Para 2024, se planea el lanzamiento del catálogo inicial de bloques de construcción públicos. Sin embargo, sigue siendo un ecosistema relativamente cerrado, ya que trata con propiedad intelectual altamente valiosa y un mercado internacional muy competitivo con importantes inversiones, especialmente en Japón (ver NTT Docomo) y en los Estados Unidos. Las inversiones alemanas, en comparación, son notables, pero probablemente no completamente competitivas.

Una alternativa a la configuración de redes de campus 5G es el llamado “network slicing”, que implica la creación de múltiples redes virtuales en una infraestructura física compartida. Esto permite a los operadores de red adaptar las características y el rendimiento de cada rebanada de red virtual para cumplir con requisitos específicos. Los usuarios pueden adquirir una “rebanada” del operador de red que cumple con sus requisitos específicos, lo que en algunos casos podría ser más rentable, especialmente para empresas más pequeñas, que la configuración de una red de campus.



3.7 Caso FRMCS (Alemania)

En el sector del transporte y, más específicamente, el sistema ferroviario, el actual estándar internacional de comunicación ferroviaria (GSM-R) no satisface las demandas de los nuevos desarrollos tecnológicos. En previsión de esto, el Sistema de Comunicación Móvil Ferroviaria del Futuro basado en 5G (FRMCS) está destinado a desempeñar un papel fundamental en garantizar una conectividad adecuada.

GSM-R, el estándar de comunicación ferroviaria basado en 2G+, diseñado hace más de 20 años por la UIC para la interoperabilidad transfronteriza, actualmente abarca más de 130,000 kilómetros de vías en Europa y 210,000 kilómetros a nivel mundial. Debido a la diferencia natural en el ciclo de vida entre las industrias de telecomunicaciones y ferroviarias, la antigua base 2G de GSM-R está desfasada con las tendencias más amplias de la industria, lo que conduce a altos costos de mantenimiento y una expiración inevitable para 2030. Reconociendo esta realidad, la UIC, en colaboración con operadores ferroviarios, inició la exploración del reemplazo de GSM-R en 2015, culminando en el programa estructurado del Sistema de Comunicación Móvil Ferroviaria del Futuro (FRMCS) en 2018.

Uno de los objetivos de FRMCS ha sido estandarizar globalmente los “bloques de construcción de telecomunicaciones” esenciales, y busca lograrlo mediante la colaboración con 3GPP (3rd Generation Partnership Project). Al trabajar con 3GPP, FRMCS tiene como objetivo establecer estándares universalmente aceptados para los componentes y protocolos fundamentales de su infraestructura de telecomunicaciones. Esta alineación estratégica está diseñada para promover la interoperabilidad global al tiempo que mejora la eficiencia general, la compatibilidad y la longevidad del Sistema de Comunicación Móvil Ferroviaria del Futuro.

En Alemania, la iniciativa sectorial “Digitale Schiene Deutschland” (DSD) está actualmente involucrada en un esfuerzo integral de digitalización para el sistema ferroviario. Esta iniciativa abarca la integración de tecnologías de vanguardia como sensores para el reconocimiento del entorno, conducción totalmente automatizada y gestión de tráfico basada en inteligencia artificial. FRMCS es esencial para esta transición, ya que promete velocidades de transmisión más altas y tiempos de señalización más cortos. Pero, lo más importante, también introduce una arquitectura completamente nueva. La división de niveles de transmisión y aplicación dentro de FRMCS es un movimiento estratégico para mantenerse adaptable en pre-

visión de futuros cambios dentro del sector de las telecomunicaciones. La división permitirá que los cambios sean solo necesarios en el nivel de transmisión, mientras que el nivel de aplicación puede permanecer sin cambios. Esto aumentará la adaptabilidad del sistema de comunicación ferroviaria también en vista de un posible estándar 6G.

Actualmente, el intento es realizar la “capa de transmisión” a través de la tecnología independiente de 5G e implementar la “capa de servicio” a través del Framework MCx del Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP). Un hito en este ambicioso proyecto es el establecimiento de una de las primeras instalaciones de prueba de FRMCS en el Digital Rail Testbed ubicado en Erzgebirge. Nokia proporciona la tecnología 5G, mientras que Kontron es responsable de implementar el MCx. Deutsche Bahn (DB) contribuye a esta iniciativa proporcionando el campo de prueba, incluida la infraestructura esencial. El banco de pruebas abarca ocho sitios de radio a lo largo de una línea ferroviaria de 10 kilómetros, facilitada por conexiones de fibra óptica y una infraestructura central de servidor en un laboratorio en la estación de Scheibenberg. La exitosa configuración de esta instalación marca un paso significativo en la realización de FRMCS.

Las pruebas realizadas en la instalación de prueba de FRMCS se centraron en medir y optimizar la cobertura y la velocidad de transmisión en la pista designada. La topografía desafiante de la región de Erzgebirge, la utilización de la banda de frecuencia de 3.7 GHz y una altura de antena de solo 10 metros llevaron a brechas de cobertura en ciertas ubicaciones de antenas. Para abordar esto, las mejoras potenciales incluyen el uso de funciones de antena de entrada múltiple y salida múltiple (MIMO) y adaptar las ubicaciones de las antenas.

Además, se anticipa una mejor cobertura de radio mediante el uso de bandas de frecuencia designadas para FRMCS en las bandas de 900 MHz y 1.9 GHz. Sin embargo, las pruebas a 900/1900 MHz se ven obstaculizadas actualmente por la falta de disponibilidad de ciertos componentes técnicos. Estos hallazgos subrayan las complejidades y matices involucrados en la implementación de FRMCS y destacan la necesidad de esfuerzos continuos de optimización para una implementación exitosa en diversos entornos ferroviarios a través de la integración de tecnologías de vanguardia como sensores para el reconocimiento del entorno, conducción totalmente automatizada y gestión de tráfico basada en inteligencia artificial.

4. Áreas de oportunidad

La tecnología 5G debe entenderse como una habilitadora para otro tipo de tecnologías emergentes que permiten, en general, servicios de mayor valor añadido más allá de la conectividad de datos.

Una importante área de oportunidad identificada es la posibilidad de fortalecer la colaboración y coordinación entre diversos actores, desde operadores de telecomunicaciones hasta gobiernos, academia, empresas y la sociedad en general, con el objetivo de lograr un despliegue más efectivo de las tecnologías 5G. Se destaca la oportunidad de definir de manera clara y específica el papel de cada actor, lo que contribuirá significativamente al éxito conjunto en esta transformación.

Entre las áreas de oportunidad para dar arranque a la implementación de casos uso y hacer redituable su despliegue, se encuentra el establecimiento de mecanismos permanentes de diálogo y compartición de información, conocimiento, experiencias y mejores prácticas sobre el verdadero potencial que tiene esta nueva tecnología para que las aplicaciones y servicios 5G se materialicen. Se busca salir del círculo vicioso de: “las aplicaciones requieren redes y las redes requieren aplicaciones”.

A continuación, se detallan las principales áreas de oportunidad identificados en las entrevistas y sesiones grupales de trabajo, para la implementación de casos de uso de la tecnología 5G en México desde la visión de cuatro actores: gobierno, empresa, academia y sociedad. Para ello, se debe hacer énfasis en el rol de cada uno de estos 4 jugadores esenciales en el desarrollo e implementación de la tecnología 5G:

Gobierno: entidades federales y estatales y organismos regulatorios especializados están llamados a generar un entorno adecuado para la innovación en 5G y dinamizar la colaboración entre todos los actores con un enfoque estratégico que contemple aspectos financieros, regulatorios y de coordinación.

Academia: las universidades y centros de investigación contribuyen a incrementar el desarrollo de habilidades específicas para aplicaciones 5G, la creación de entornos para la experimentación enfocada en casos de uso y colaborar de manera más activa con el sector público y las empresas.

Empresas: las empresas de telecomunicaciones y las nuevas empresas de base tecnológica han dado los prim-

eros pasos para aprovechar la tecnología 5G. Ahora, es el momento de que las empresas de todos los tamaños, especialmente las de los sectores clave de la manufactura, el transporte, la energía, la salud y la educación, exploren casos de uso alineados con sus objetivos de negocio. Al hacerlo, podrán generar ventajas competitivas y brindar un servicio de mayor valor para la sociedad.

Sociedad: como personas todos estamos llamados a aumentar el conocimiento que tenemos de la conectividad 5G y las aplicaciones digitales que habilita porque por la trayectoria transformacional que tiene esta tecnología.

4.1 Gobierno

Es altamente relevante establecer políticas de incentivos para que empresas inviertan en redes y que usuarios puedan acceder a conectividad de calidad y desarrollar, en conjunto con autoridades locales y actores relevantes del ecosistema digital.

Asimismo, es importante avanzar en la promoción de la compartición de infraestructuras activas y pasivas para facilitar el despliegue de infraestructuras de telecomunicaciones y en la simplificación de Procesos de obtención de permisos y construcción locales.

De igual forma, el liderazgo gubernamental es crítico para convocar y coordinar a los actores relevantes del ecosistema digital, gobierno, la industria, la academia y la sociedad civil, en torno al diseño de un plan estratégico u hoja de ruta nacional, a mediano y largo plazo, basado en la toma de decisiones informadas y un desarrollo de sinergias entre los actores relevantes del ecosistema digital que permitan el despliegue de redes 5G, el desarrollo de ecosistemas innovadores 5G en beneficio de la sociedad.

En México, resulta fundamental desarrollar una visión y planificación estratégicas con relación al considerable potencial que implica la implementación de la tecnología 5G. Este enfoque no solo debe abordar objetivos económicos a corto plazo, sino también considerar de manera integral los beneficios sociales y las mejoras en los procesos públicos.

Durante los talleres con expertos, varios actores manifestaron que la transformación digital del país ha sido impactada por la austeridad financiera que impide la materialización de planes más ambiciosos que no cuentan con los recursos necesarios.

Dos ejemplos citados de la necesidad de contar con una planeación estratégica en torno a 5G son: primero, la

cantidad de espectro radioeléctrico disponible y su alto costo - el mayor de todo el continente americano - y segundo, la necesidad de establecer de incentivos para la inversión privada en proyectos con tecnologías emergentes, incluyendo aquellos basados en 5G.

Un factor que contribuiría a fomentar la inversión es crear un escenario de claridad, congruencia y homologación en el marco normativo a nivel federal, estatal y a lo largo de los distintos organismos regulatorios para facilitar la implementación de la tecnología 5G en México e impulsar su potencial de transformación y desarrollo. Uno de los impactos más visibles en materia de inversión en infraestructura de telecomunicaciones es los costos adicionales de permisos y trámites asociados con el despliegue que reducen agilidad y duplican esfuerzos en el proceso de instalación.

En conclusión, abordar estos desafíos requerirá una colaboración estrecha entre el sector público y privado, así como un enfoque estratégico para superar obstáculos financieros, regulatorios y de conocimiento. Un replanteamiento integral de estas limitaciones se vuelve imperativo para avanzar hacia una adopción exitosa de la tecnología 5G en el país.

4.2 Academia

La formación de capacidades es esencial para aprovechar al máximo los beneficios de la tecnología 5G e impulsar su desarrollo. La inversión e implementación de cualquier tecnología nueva debe de ir de la mano de personas con conocimientos tanto técnicos como de los diversos dominios de aplicación que impulsen la creación de casos de uso.

En las entrevistas y sesiones grupales se destacaron tres áreas de oportunidad:

En primer lugar, se requiere del desarrollo de entornos de pruebas, como los sandboxes o living labs, en los que la academia pueda poner a prueba aplicaciones que luego se trasladen al mundo real. Actualmente se observa una desconexión entre las propuestas de este tipo de entornos y la asignación efectiva de recursos financieros para desarrollarlos.

En segundo lugar, se ve necesario un impulso en la capacitación de recursos humanos capaces de diseñar y desarrollar pruebas en el ámbito de la tecnología 5G. Se reconoce que, así como lo han hecho otros países, es importante desarrollar mejores planes y programas de estudios para capacitar en el diseño e implementación de nuevas tecnologías.

Finalmente, se destaca la necesidad de fomentar un intercambio efectivo de conocimientos entre la academia y el sector público y privado para crear conciencia de los beneficios de las nuevas tecnologías para mejorar tanto los servicios públicos como los entornos productivos a través de las aplicaciones innovadoras que permite una conectividad más avanzada.

En resumen, el principal reto de la academia es el desarrollo de habilidades específicas para el diseño y desarrollo de aplicaciones 5G, la creación de entornos adecuados para experimentar con ellas y un modelo adecuado de vinculación e intercambio de conocimientos con las empresas y el sector público.

4.3 Empresa

En prácticamente todos los sectores de la actividad económica existen oportunidades de crecimiento e innovación habilitadas por tecnología 5G, y aprovecharlas requiere de un impulso en la capacitación técnica y operativa, y estrategias de gestión de cambio que permitan reducir la resistencia y generar confianza en la adopción de nuevos modelos de negocio.

El sector empresarial en México es muy diverso e incluye empresas internacionales con capacidad de inversión más grande, pero también microempresas que tienen recursos limitados. En el caso de estas últimas, existe una brecha más grande para acceder a niveles tecnológicos más avanzados en cuanto a uso de la nube, arquitectura de datos e inteligencia artificial que se requieren para el desarrollo de aplicaciones basadas en 5G. Esto se traduce en una necesidad de abaratar el acceso a la tecnología para lograr una participación más equitativa en la transformación digital.

Dado que la demanda del mercado hoy todavía no justifica la inversión que demanda la infraestructura 5G, se identifican tres áreas de oportunidad generales para que las empresas sepan dónde y cómo desplegar este tipo de servicios:

Primero, contar con una estrategia de transformación digital alineada a sus objetivos de negocio para generar el máximo valor posible. No adoptar una evolución desordenada sino con una valoración inicial de las ventajas del desarrollo, uso y adopción de la tecnología 5G.

Segundo, generar vínculos con la academia para tener un conocimiento más profundo de las nuevas posibilidades técnicas que habilita la tecnología 5G y justifica el costo de saltar desde los modelos 4G.

Tercero, incrementar la comunicación con el gobierno para superar barreras a la adopción de tecnologías 5G, como el acceso al espectro para implementar redes privadas y la implementación de normativas y estándares más claros para equipos 5G.

En resumen, los principales desafíos de las empresas son el desarrollo de estrategias que permitan desplegar de forma rentable casos de uso conforme incrementa el interés del mercado en adoptarlos y una mejor comunicación con el gobierno para facilitar el acceso y uso del espectro.

4.4 Sociedad

El desafío principal identificado en cuanto a la sociedad es lograr generar un interés general para adoptar activamente las aplicaciones basadas en tecnología 5G.

La sociedad mexicana muestra una actitud positiva hacia la innovación, aunque existen dos desafíos principales en su adopción; el primero es la accesibilidad por desconexión y/o facilidad económica, y el segundo es la falta de información clara y relevante.

En el tema particular de la tecnología 5G la sociedad carece de comprensión acerca de sus aplicaciones prácticas que deriva en un bajo incentivo para adoptarla.

Se ven señales de incremento en la adopción de soluciones de internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés), pero todavía hay un camino por recorrer en cuanto a comunicar de manera efectiva cómo se implementa, qué aspectos deben considerarse preventivamente en términos de seguridad y qué beneficios tangibles tiene tanto económicamente en el caso de las empresas, como en cuanto a beneficios sociales, que incluyen habilitar el acceso a servicios de mayor valor añadido a todos los rincones del país.

En resumen, la sociedad puede enfrentar retos relacionados con la falta de conocimiento, interés y participación en torno a la tecnología 5G. Abordar estos desafíos requerirá esfuerzos en educación, comunicación y el establecimiento de incentivos para involucrar y concientizar a la sociedad sobre el papel que juega en la adopción de 5G.

5. Guía de implementación

Las conversaciones sostenidas con los actores que participaron en la elaboración de este estudio contribuyeron a identificar cinco líneas de acción recomendadas para mejorar la implementación de casos de uso de tecnología 5G en México, que se detallan a continuación.

5.1 Mecanismos de coordinación y colaboración

Para implementar con éxito la tecnología 5G en México, se requieren acciones claras y coordinadas. Aunque es una responsabilidad compartida entre el gobierno, la academia y las empresas, es importante definir claramente los roles de cada actor mediante reflexiones conjuntas que lleven a consensos.

En este sentido es recomendable establecer foros de discusión continuos entre los diversos actores involucrados en proyectos 5G. Estos espacios permitirían compartir mejores prácticas y experiencias, identificar barreras, explorar tendencias, analizar casos de uso, y ofrecer oportunidades de capacitación. Un foro público con mesas de diálogo constantes se erige como una plataforma esencial para fomentar la colaboración y el intercambio de conocimientos.

Una mejor sincronización entre los diferentes actores contribuirá a una implementación exitosa de casos de uso 5G, que cumpla con objetivos compartidos y además sea escalable a futuro.

5.2 Una visión estratégica nacional consensuada

De la mano de mecanismos de coordinación y colaboración, se encuentra el establecer objetivos y metas comunes a corto, medio y largo plazo, así como el rol de cada actor dentro de esta ejecución.

Una vez claro el camino por delante, entidades de gobierno a nivel federal y local, así como organismos regulatorios, deben alinear las políticas y la regulación para facilitar un mayor desarrollo de servicios basados en 5G. Esto propiciará incentivos y claridad regulatoria que den mayor seguridad para invertir.

Se propone una revisión integral de la política y regulaciones que tengan relación con la tecnología 5G considerando los siguientes puntos particulares:

- **Acelerar la homologación de trámites a nivel local en materia de despliegue de infraestructura.**
- **Simplificar y dar claridad en los procesos para agilizar y reducir costos adicionales asociados a permisos y trámites para los despliegues.**
- **Definir prioridades a nivel nacional y sectorial con respecto desarrollo, uso y adopción de 5G, posteriormente, sistematizar los procesos y mapas de ruta para su implementación.**
- **Definir incentivos fiscales para la convergencia de la oferta y demanda de productos y servicios 5G.**
- **Ampliar la disponibilidad de espectro mediante la reducción de costos.**
- **Promover el reforzamiento de las competencias digitales de ciberseguridad y uso responsable de las tecnologías.**
- **Fomentar la desconcentración del mercado.**

5.3 Inversión conjunta y coordinada

Un paso fundamental para hacer realidad una mayor adopción de la tecnología 5G en México es identificar necesidades de inversión para el cumplimiento de los objetivos estratégicos consensuados y definir cómo se movilizarán los recursos en función de las capacidades de cada actor.

Es tan importante la inversión financiera y de talento que hacen las empresas y la academia para generar oferta y demanda de servicios, como los instrumentos de fomento que provee el gobierno para crear condiciones óptimas para el desarrollo de un ecosistema de innovación 5G.

Existen prácticas en otros países que pueden aplicarse en México, como la creación de incentivos para empresas responsables del despliegue de 5G para que se extienda la conectividad a zonas remotas, impulsando así el desarrollo social al disminuir la exclusión. Este enfoque contrasta con la percepción en México de que el impacto de la inversión en 5G es exclusivamente económico, incluso llegando al extremo de renunciar a segmentos de espectro en lugar de destinarlos a inversiones que promoverían un avance tecnológico más robusto.

En el caso de Alemania, el gobierno es impulsor de proyectos insignia para fomentar el uso y desarrollo de la tecnología 5G, en los que los diferentes participantes trabajan de forma coordinada y aportando según su rol: academia aporta el conocimiento y personal capacitado mientras que las empresas privadas aportan la maquinaria necesaria para el desarrollo del proyecto.

5.4 Impulso a la innovación y educación

Para que existan casos de uso innovadores con tecnología 5G es necesario conectar el talento con los recursos técnicos y económicos necesarios y por ello se recomienda articular más espacios y mecanismos para probar y validar proyectos 5G como los concursos, los laboratorios urbanos / sandbox (probar) y los show rooms (demostración).

Hay que destacar que no se parte de cero, existe ya un número relevante de iniciativas, y lo que se necesita es trabajar en colaboración a través de asociaciones y convenios entre los diferentes actores (academia, gobierno y empresa), para no duplicar esfuerzos y desarrollar capacidades institucionales. Adicionalmente, existen países con mayor avance y conocimiento en el tema, se debe trabajar en conjunto para aprender de sus casos de uso, las barreras que han encontrado y que hallazgos se pueden tomar como punto de referencia para futuros estudios.

Un ámbito importante es la educación, tanto la básica y media en la que debe incorporarse el léxico de las nuevas tecnologías en los niños, como la superior en donde deben crearse espacios para que los jóvenes que ya tienen mentalidad digital diseñen y aceleren proyectos. En universidades se está ya fomentando el desarrollo de laboratorios donde se desarrolle el conocimiento a profundidad de la tecnología 5G mientras que se forman profesionales especializados en la materia.

En el ámbito empresarial, es importante destacar la importancia de la inversión en I+D (investigación y desarrollo) para aplicaciones de 5G, particularmente en sectores tructores de la economía como el automotriz y otras actividades de manufactura, que necesitarán contar con servicios basados en conectividad de baja latencia para mantenerse competitivos en los próximos 5 a 10 años.

5.5 Inclusión de la sociedad

En México el principal reto es cerrar la brecha digital existente, entre un sector de la población que tiene niveles altos de analfabetismo digital y otro que participa activamente de los beneficios de la evolución tecnológica.

Es recomendable abrir conversaciones constructivas sobre cómo integrar las innovaciones habilitadas por la tecnología 5G de manera ética e inclusiva, que deriven en la creación de estrategias y guías concretas para democratizar el acceso y evitar que se sostenga en el país una situación de inequidad.

6. Llamado a la acción

Esta guía busca ser un documento vivo que impulse a convertir las palabras en acciones concretas para consolidar un ecosistema de innovación 5G en México en el que cada tipo de actor tenga claro el rol con el que puede contribuir.

A manera de resumen, se proponen acciones concretas que se derivan de las recomendaciones planteadas en este documento.

Todos sectores

(Sector público, academia, empresa):

- Aterrizar una visión consensuada a largo plazo en un plan nacional de innovación en 5G
- Crear y participar en un mecanismo de colaboración que permita dar seguimiento a la implementación de la visión consensuada

Sector Público

(Federal, estatal y organismos reguladores):

- Impulsar el marco de coordinación y de diseño e implementación de políticas públicas para el desarrollo, uso y adopción de la tecnología 5G, que incluya visión, objetivos, prioridades, estrategias, acciones, evaluación, seguimiento y actualización.
- Avanzar en la implementación de políticas y mecanismos de simplificación y homologación trámites y reducir costos para el despliegue de infraestructura
- Crear programas de co-inversión e incentivos para promover proyectos y ecosistemas de innovación 5G
- Impulsar el desarrollo de capacidades que aceleren la formación en alfabetización digital (tecnologías emergentes, así como de marcos de habilidades digitales
- Promover el desarrollo de capacidades y competencias asociadas a 5G en la educación en todos los niveles

- Impulsar la coordinación de actores relevantes para desarrollar proyectos de infraestructura pública de ciudades inteligentes conectados con 5G
- Impulsar la asequibilidad del costo del espectro en conjunto con el Órgano Regulador
- Promover esquemas de compartición de espectro y lineamientos de subarrendamiento de espectro
- Impulsar el uso de espectro para proyectos de experimentación 5G

Academia

- Crear y adaptar programas académicos para desarrollar competencias técnicas adecuadas para desarrollar casos de uso basados en 5G
- Habilitar espacios de pruebas para construir prototipos de soluciones basadas en 5G en colaboración con empresas y sector público
- Crear mecanismos de transferencia tecnológica para trasladar innovaciones basadas en 5G al sector productivo

Empresa

- **Operadoras de telecomunicaciones:** continuar con esfuerzos para co-financiar casos de uso 5G con academia, empresas tecnológicas y startups compartiendo el espectro que tienen asignado
- **Empresas de base tecnológica:** participar activamente en el desarrollo y financiamiento de casos de uso 5G y analizar la importación a México de casos de uso exitosos en otros países
- **Grandes empresas con tracción sectorial:** incorporar 5G a sus portafolios de innovación para habilitar casos de uso a su operación, en particular en sectores clave como manufactura, logística, transporte, energía, salud y educación
- **Empresas medianas y pequeñas en general:** acelerar la incorporación de herramientas digitales al negocio para aprovechar los beneficios de tecnologías emergentes del 5G en el mediano plazo

En conclusión, la tecnología 5G tiene el potencial de transformar la economía y la sociedad de México. Sin embargo, para que esto suceda, es necesario que se consolide un ecosistema de innovación 5G en el país.

Estas acciones, que deben ser implementadas por todos los sectores de la sociedad, buscan sentar las bases para el desarrollo y adopción de 5G en México. El éxito de estas acciones dependerá de la voluntad y el compromiso de todos los sectores de la sociedad.

Si se trabaja en conjunto, México tiene el potencial de convertirse en un líder regional en el desarrollo y adopción de 5G.

7. Referencias

5G-Anbieter (2023). 5G Campusnetze. Obtenido de:

<https://www.5g-anbieter.info/5g-anwendungen/campusnetze.html>

CampusOS (2023). Lead Project. Obtenido de:

<https://campus-os.io/leadproject/#top>

Digitale Schiene Deutschland (2023). FRMCS/5G-Datenkommunikation. Obtenido de Digitale Schiene Deutschland:

<https://digitale-schiene-deutschland.de/FRMCS-5G-Datenkommunikation>

Digitale Technologien (2023). Monitoring-Bericht "Campusnetze". Obtenido de:

https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/5G_Campusnetze/2023_09_05_Monitoring_Campusnetze.html

Equinix (2023). Índice de interconexión global (GXI) 2023. Obtenido de Equinix:

<https://www.equinix.es/gxi-report>

Gobierno de Canadá / Trade Commissioner Service (2021). Market study to map the Smart Cities Ecosystem in Mexico

International Union of Railways (2020). FRMCS and 5G for rail: challenges, achievements and opportunities. Obtenido de:

https://uic.org/IMG/pdf/brochure_frmcs_v2_web.pdf

IFT - Instituto Federal de Telecomunicaciones IFT (2022). IMT en México, más espectro para aplicaciones de Banda Ancha Inalámbrica. Obtenido de:

https://www.ift.org.mx/sites/default/files/espectro_imt_en_mexico_2022_0.pdf

ITU (2023). World Summit on the Information Society Prizes 2023: Mobile Connectivity for Teachers in Poor and Remote Areas Project. Obtenido de ITU WSIS Prizes:

<https://www.itu.int/net4/wsis/stocktaking/Prizes/2024/Details/16702532601784383>

Koernicke et al. (2023). First FRMCS / 5G test environment for the railway system built in Germany. Obtenido de:

https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/42_49_Koernicke_et.al.pdf

NTT Data (2023). Cloud en América Latina, acelerador clave en la adopción y madurez tecnológica. Obtenido de NTT Data:

<https://co.nttdata.com/insights/estudios/cloud-en-america-latina>

Piedras, E. (2023). Ingresos Telecom 2023: 3T y Cierre del Año. Obtenido de The CIU:

<https://www.theciu.com/publicaciones-2/2023/11/23/ingresos-telecom-2023-3t-y-cierre-del-ao>

Piedras, E. (2023). Avance de 5G: Retos y Oportunidades de su Despliegue. Obtenido de The CIU:

<https://www.theciu.com/publicaciones-2/2023/10/30/avance-de-5g-retos-y-oportunidades-de-su-despliegue>

Piedras, E. (2023). Limitantes a la Innovación en la Regulación Mexicana. Obtenido de The CIU:

<https://www.theciu.com/publicaciones-2/2023/10/26/limitantes-a-la-innovacin-en-la-regulacin-mexicana>

Stanczak et al. (2022). Industrie 4.0 | CampusOS-Projekt Das passende Campusnetz für jede Anwendung. Obtenido de:

https://campus-os.io/wp-content/uploads/2022/12/Sonderdruck_me_Fraunhofer_HHI_final.pdf

The CIU (2022). Política de Costos del Espectro en México: Efectos en Precios Finales de los Servicios Móviles. Obtenido de The CIU:

<https://www.theciu.com/documentos-de-analisis/2022/8/31/politica-de-costos-del-espectro-en-mxico-efectos-en-precios-finales-de-los-servicios-mviles>

The CIU & GIZ (2022). Hoja de Ruta para la Conectividad Universal. Obtenido de The CIU:

<https://www.theciu.com/documentos-de-analisis/2022/7/21/hoja-de-ruta-para-la-conectividad-universal>