

Guía para
**“EXPERIMENTACIÓN,
SIMULACIÓN
Y PRUEBAS 5G”**

MESA 6



Sesión No. 12

MESA No. 6

Experimentación y Pruebas con 5G

Comité5G-Mesa6/doc.15

15 de septiembre de 2023

Documento Guía para “Experimentación, Simulación y Pruebas 5G”

Resumen ejecutivo

Debido a la importancia que representa el servicio público de telecomunicaciones en el desarrollo del país, su impacto en la transformación digital, así como la evolución de las capacidades de la tecnología inalámbrica móvil 5G/B5G, es innegable la necesidad de desarrollar ajustes imperantes en los sistemas de operadores móviles para coadyuvar en el desarrollo e implementación de estas tecnologías en México. En tal sentido, *el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones, aprobó el Acuerdo que establece el Comité Técnico en materia de Despliegue de 5G en México*¹, el cual “es un órgano técnico de apoyo al Instituto, de naturaleza consultiva y no vinculante, que permitirá la interacción entre el Instituto, la industria, la academia, los entes públicos y cualquier persona interesada, para exponer las necesidades, estrategias, prospectiva y estudios de 5G actuales y futuros, con el propósito de elaborar contribuciones que servirán como insumo, para que el Instituto propicie un desarrollo eficiente de 5G en México.”

El Acuerdo arriba mencionado, contiene en su *Capítulo IV Anexo Único las Reglas de Operación* de éste, la regla 22 establece las 6 mesas de trabajo y los procedimientos para sesionar a fin de proveer de insumos necesarios para la implementación y despliegue 5G. Las Mesas de Trabajo son multidisciplinarias y convergentes, es decir, el desarrollo de un tema puede ser abordado de manera conjunta desde el campo de acción de cada mesa. En este sentido, la mesa 6 se ha trazado el objetivo de analizar y elaborar una serie de pasos que lleven a proponer al Instituto los requerimientos mínimos para la puesta en práctica de experimentación, simulación y pruebas de servicios y/o aplicaciones 5G/B5G en redes públicas y privadas.

Derivado de los acuerdos en las distintas sesiones y como acciones del **Plan de Trabajo** donde entre otras cosas, se estableció como objetivo elaborar un documento-guía y dotar así al Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), de un marco de referencia para definir los requerimientos mínimos para la “Experimentación, Simulación y Pruebas 5G (ESP-5G)”. Es así que, distintos miembros de las Mesas de Trabajo se dieron a la tarea de proporcionar información, experiencia y conocimientos de casos de uso relevantes.

¹ Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones establece el Comité Técnico en materia de Despliegue de 5G en México, como un órgano técnico de apoyo, de naturaleza consultiva y no vinculante, para propiciar una eficiente implementación de 5G en México y expide sus Reglas de Operación. https://www.ift.org.mx/sites/default/files/acuerdo_comite_5g_y_anexo.pdf

Este escrito contiene iniciativas y propuestas de casos de uso identificados tanto en las mesas de trabajo No. 3 (Servicios y Aplicaciones) como en la mesa de trabajo No. 6 (Experimentación y pruebas) para la implementación de 5G en México; iniciativas que, en conjunto con la experiencia internacional, definen la propuesta del marco de referencia para soportar la simulación, experimentación y pruebas. La propuesta descansa en las premisas inherentes a nuestro país las cuales son atender las demandas sociales de servicios tecnológicos, así como, aspectos económicos y geopolíticos, conocer las necesidades y requerimientos tecnológicos principales de las capacidades y características de los elementos esenciales que permitan conducir y realizar las simulaciones y pruebas.

De tal forma que, al contar con este documento, se busca apoyar a cualquier entidad o institución que desee y busque establecer o contar con un campo de pruebas (*testbed*) en sus laboratorios experimentales (laboratorios federales, laboratorios empresariales y/o laboratorios académicos) simular y experimentar desde equipos de usuarios, arquitectura, bandas de espectro radioeléctrico (licenciadas o sin licenciar), hasta infraestructura de proveedores y fabricantes de equipos de grado. Uno de los retos identificados es el impulso al trabajo conjunto de la triple hélice (iniciativa privada, gobierno y academia); reto en el cual el Instituto juega un papel importante como catalizador de estas acciones.

Finalmente, no se omite señalar que el presente documento fue elaborado por distintos integrantes miembros de la mesa de trabajo No. 6 del Comité 5G, en colaboración con personal del IFT, los cuales proporcionaron información, experiencia y los insumos que aquí se presentan, con el objetivo de contribuir al establecimiento de un marco de referencia para la realización de pruebas y simulaciones con tecnologías 5G y por encima de 5G en el país, así como proporcionar recomendaciones particulares a fin de afrontar los desafíos en la ejecución de estas pruebas y simulaciones.

Objetivos Generales

- Establecer metodologías y mejores prácticas de experimentación 5G pre-despliegue así como los umbrales de aceptación o validación de los parámetros y servicios, *Quality of Services (QoS)* y *Quality of Experience (QoE)* acorde a los escenarios de aplicación y uso.
- Elaborar recomendaciones post-despliegue tales como monitoreo de desempeño, optimización integral de capa física y el núcleo de red, verificación de las cualidades específicas como “*Network slicing, carrier aggregation, SUB6_mMwave CA*” entre otros.
- Valorar factibilidad de casos de uso y analizar posibles interfaces con otros equipos industriales que permitan eficientar y automatizar procesos en la manufactura, construcción, minería, agricultura y transporte, entre otras.

Contenido

1. Introducción	7
1.1 Presentación del documento	7
1.2 Estructura del documento.....	8
2. Requerimientos generales y especificaciones	9
2.1 Características y requerimientos de los servicios.....	10
2.2 Evolución a una Arquitectura Basada en Servicios (SBA)	10
2.3 Network Slicing y SBA	12
2.4 Estándares 5G.....	13
2.5 Arquitectura de pruebas de red 5G/B5G Extremo a Extremo.....	14
2.5.1 Arquitectura de pruebas de red 5G Open RAN.....	15
2.6 Fases para el establecimiento de un plan de pruebas.....	15
3. Laboratorios para simulación y experimentación 5G	18
3.1 Laboratorios Académicos (Universidades y Centros de Investigación).....	18
3.2 Laboratorios de Operadores de Telecomunicaciones	19
3.3 Laboratorios de Instituciones Gubernamentales	19
3.4 Laboratorios de empresas privadas.....	20
3.5 Espectro Radioeléctrico de Experimentación y Prueba.....	21
4. Marco de referencia para simulación y pruebas	22
4.1 Requerimientos tecnológicos para el diseño.....	23
4.2 Ejemplo de implementación de pruebas para un caso de uso.....	24
5. Protocolo ESP-5G	27
6. Principales retos y conclusiones	29
6.1 Retos.....	29
6.2 Conclusiones	30
7. Colaboradores	32
Referencias Bibliográficas	33

Acrónimos

3GPP: “3rd Generation Partnership Project”, por sus siglas en inglés, “Proyecto de Asociación de Tercera Generación”.

4G: “4th Generation”, por sus siglas en inglés, “Cuarta Generación”.

4RI: “Cuarta Revolución Industrial”

5G: “Fifth Generation”, por sus siglas en inglés, “Quinta Generación”

5G/B5G: “Fifth Generation/Beyond-Fifth-Generation”, por sus siglas en inglés, “Quinta Generación/ Más allá de la Quinta generación”

5G: “5th Generation System”, por sus siglas en inglés, “Sistema 5G”

API: “Application Programming Interface”, por sus siglas en inglés, “Interfaz de Programación de Aplicaciones

AR/VR: “Augmented Reality/Virtual Reality”, por sus siglas en inglés, “Realidad Aumentada/Realidad Virtual”

CFE: “Comisión Federal de Electricidad”

DL: “DownLink”, por sus siglas en inglés, “Enlace de Bajada”

ESP-5G: “Experimentación, Simulación y Pruebas 5G”

ETSI: “European Telecommunications Standards Institute”, por sus siglas en inglés, “Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones”.

eMBB: “Enhanced Mobile Broadband”, por sus siglas en inglés, “Banda Ancha Móvil Mejorada”.

E2E: “End to End”, por sus siglas en inglés, “enlace Extremo a Extremo”

Gbps: “Gigabits por segundo”

HD: “High Definition”, por sus siglas en inglés, “Alta Definición”

HTTP: “HyperText Transfer Protocol”, por sus siglas en inglés, “Protocolo de transferencia de hipertexto”

IETF: “Internet Engineering Task Force”, por sus siglas en inglés, “Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet”.

IFT: Instituto Federal de Telecomunicaciones. Entidad reguladora de las telecomunicaciones en México.

IMT-2020: “International Mobile Telecommunication 2020”, por sus siglas en inglés, “Telecomunicaciones Móviles Internacionales, requisitos emitidos para redes, dispositivos y servicios 5G”

IoT: “Internet of things”, por sus siglas en inglés, “Internet de las cosas”.

IPN: Instituto Politécnico Nacional.

ITS: “Intelligent Transport System”, por sus siglas en inglés, “Sistema de Transporte Inteligente”

ITU: “International Telecommunication Union”, por sus siglas en inglés, “Unión Internacional de Telecomunicaciones”.

KPI: “Key Performance Indicators”, por sus siglas en inglés, “Indicadores Claves de Desempeño”

KQI: “Key Quality Indicators”, por sus siglas en inglés, “Indicadores Clave de Calidad”

Mbps: “Megabits por segundo”

MIPyMES: “Micro, Pequeña y Mediana Empresas”

ML: “Machine Learning”, por sus siglas en inglés “Aprendizaje de Máquina”

mMTC: “Massive Machine Type Communications”, por sus siglas en inglés, “Comunicaciones Masivas de Tipo Máquina”.

MS: “Mobile Station”, por sus siglas en inglés, “Estación Móvil”

ms: “Milisegundos”

- NAS:** “Non-Access Stratum protocol for 5G System”, por sus siglas en inglés, “Protocolo para sistemas 5G sin acceso al estrato”
- NF:** “Network Function”, por sus siglas en inglés, “Funciones de Red”
- NFV:** “Network Function Virtualization”, por sus siglas en inglés, “Virtualización de Funciones de Red”
- NS:** “Network Slice”, por sus siglas en inglés, “Segmentos de red”
- QoE:** “Quality of Experience”, por sus siglas en inglés, “Calidad de la Experiencia”.
- QoS:** “Quality of Service”, por sus siglas en inglés, “Calidad del servicio”.
- uRLLC:** “Ultra-Reliable and Low Latency Communications”, por sus siglas en inglés, “Comunicaciones Ultra Confiabilidad y de Baja Latencia”.
- RAN:** “Radio Access Network”, por sus siglas en inglés, “Radio de Acceso a la Red”
- RESTful:** “Representational State Transfer”, por sus siglas en inglés, “Transferencia de Estado Representacional”
- SBA:** “Service-Based Architecture”, por sus siglas en inglés, “Arquitectura basada en servicios”.
- SBI:** “Service Based Interfaces”, por sus siglas en inglés, “Interfaces basadas en Servicios”
- SICT:** “Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte”
- SLA:** “Service Level Agreement”, por sus siglas en inglés, “Acuerdos o contratos del Nivel de Servicios”
- TIC:** “Tecnologías de Información y Comunicaciones”
- UAV:** “Unmanned Aerial Vehicle”, por sus siglas en inglés, “Vehículo aéreo no tripulado o controlado”
- UE:** “User Equipment”, por sus siglas en inglés, “Equipo de Usuario”
- UHD:** “Ultra High Definition”, por sus siglas en inglés, “Ultra Alta Definición”
- UL:** “UpLink”, por sus siglas en inglés, “Enlace de Subida”
- VNF:** “Virtual Network Function”, por sus siglas en inglés, “Funciones virtuales de redes”
- VOD:** “Video On Demand”, por sus siglas en inglés, “Video Bajo o en Demanda”
- WiFi AP:** “Access Point”, por sus siglas en inglés, “Punto de Acceso a la red inalámbrica WiFi”.

1. Introducción

1.1 Presentación del documento

En el presente documento, se abordan las directrices y recomendaciones para la implementación exitosa de la experimentación, simulación y pruebas de servicios y aplicaciones relacionados con la tecnología inalámbrica móvil 5G/B5G en México así como la relevancia indiscutible del servicio público de telecomunicaciones en el progreso nacional y su intersección con la transformación digital.

Desde un análisis riguroso de las capacidades y perspectivas actuales y futuras de la tecnología 5G/B5G hasta la exposición detallada de los requerimientos mínimos para la puesta en práctica de experimentos y simulaciones, este documento se erige como un compendio, en donde una de las piedras angulares de este marco de referencia es el Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones establece el Comité Técnico en materia de Despliegue de 5G en México, como un órgano técnico de apoyo, de naturaleza consultiva y no vinculante, para propiciar una eficiente implementación de 5G en México y expide sus Reglas de Operación, cuyas reglas y mesas de trabajo multidisciplinarias proporcionan la plataforma para la interacción productiva entre los actores involucrados.

En ese sentido, se destaca la colaboración y aportes de las múltiples partes interesadas como son la industria, la academia y entidades públicas, que han contribuido con su experiencia y conocimientos para la construcción de este enfoque integral a través de una exploración detallada de casos de uso identificados en las mesas de trabajo pertinentes. Por lo anterior, este documento presenta algunas propuestas a manera ilustrativa que representan una hoja de ruta versátil y sólida para la experimentación, simulación y pruebas de servicios y aplicaciones 5G/B5G.

Adicionalmente, se abordan los retos y oportunidades que se presentan en el camino hacia la implementación exitosa de un ecosistema de pruebas y simulaciones a través del fomento de la colaboración entre el gobierno, la industria y el ámbito académico surgiendo, así como un desafío crítico, en el cual el Instituto Federal de Telecomunicaciones juega un rol esencial como catalizador de dicha sinergia. Asimismo, se delinearán estrategias para superar las barreras económicas y tecnológicas, garantizando que el desarrollo de la tecnología 5G/B5G se alinee con las necesidades y demandas de la sociedad.

En síntesis, este documento constituye un recurso integral que abona a la implementación efectiva de la experimentación, simulación y pruebas de tecnologías 5G/B5G en México, sino que también define los elementos clave, y directrices necesarias para impulsar un ecosistema colaborativo en estas tareas. Al seguir estas pautas, las entidades e instituciones interesadas podrán conocer la amplitud de las actividades relacionadas y establecer sus propias plataformas de pruebas y experimentación, contribuyendo así al avance tecnológico en la era de la conectividad avanzada.

1.2 Estructura del documento

Este documento se organiza de acuerdo con una estructura clara y lógica que facilita la comprensión y ubicación de su contenido. A continuación, se presenta un resumen de la estructura general del documento:

Sección 1: Introducción

En esta sección, se proporciona una introducción al tema de experimentación, simulación y pruebas 5G y se presenta una visión general de lo que el lector puede esperar encontrar en las secciones posteriores.

Sección 2: Requerimientos Generales y Casos de Uso

Esta sección se dedica a la exposición de los requerimientos generales, especificaciones técnicas, regulaciones y estándares que deben ser seguidos en el contexto de implementación en México de tecnologías de nueva generación, como 5G/B5G. Además, se detallan casos de uso y escenarios específicos que servirán como ejemplos y serán considerados en las propuestas subsiguientes.

Sección 3: Simulación en Laboratorios Ad Hoc

En esta sección se aborda la propuesta de llevar a cabo simulaciones en laboratorios Ad Hoc como parte esencial de la experimentación previa a la implementación de tecnologías y redes de nueva generación, como 5G/B5G. Se abordan los diferentes tipos de laboratorio que ayudarían a los dichos propósitos y se destacan algunas de sus ventajas.

Sección 4: Estrategias para Experimentación y Validación

La sección 4 se enfoca en presentar las estrategias que servirán como marco de referencia para la experimentación, pruebas y validación de las tecnologías 5G/B5G. Se abordan los requerimientos tecnológicos necesarios para el plan de pruebas y se hace la propuesta inicial de cómo serían los pasos para la experimentación en el Monitoreo remoto de Pacientes dentro del tema *eHealth*.

Sección 5: Requerimientos de Información para Pruebas

En esta sección se especifican los requerimientos de información que deben ser incluidos en los documentos que respaldan las diversas pruebas de dispositivos tecnológicos 5G. Se detallan los criterios que deben cumplirse en este aspecto.

Sección 6: Retos y Conclusiones

La última sección del documento aborda los retos encontrados durante la investigación y experimentación, así como las conclusiones obtenidas a partir de los resultados obtenidos. Se ofrecen reflexiones finales sobre el tema de estudio.

2. Requerimientos generales y especificaciones

Las comunicaciones móviles han cambiado profundamente la vida cotidiana y el deseo de las personas por una comunicación móvil de mayor rendimiento es interminable. 5G emerge para conocer demandas nuevas y sin precedentes más allá de la capacidad de los sistemas de generación previa.

Actualmente, se están desplegando redes 5G alrededor del mundo en las cuales los operadores realizan pruebas sobre las aplicaciones existentes, de estas últimas, los desarrolladores trabajan arduamente y no se tienen, aún, resultados fehacientes de que se están cumpliendo las expectativas planteadas. Diversos países de Latinoamérica realizan negociaciones con fabricantes y operadores de tecnologías 5G, así como adecuaciones a sus leyes y reglamentos para estar en condiciones tecnológicas y legales para afrontar el despliegue de este sistema de comunicaciones [1]. 5G penetra en cada elemento de la sociedad y se centra en un ecosistema de información centrado en el usuario.

El gran número de servicios y aplicaciones que han emergido en los últimos años han provocado que los proveedores de contenido de redes móviles de nueva generación aumenten drásticamente su capacidad para brindar estos servicios. Esto se debe en gran parte también al aumento del tráfico de datos, la cantidad de nuevos dispositivos y sensores de Internet de las Cosas (IoT, *Internet of Things*), ciudades inteligentes (*smart cities*), vehículos autónomos, la 4ta Revolución Industrial (4RI), etc. En consecuencia, los requerimientos de red se han vuelto más exigentes, críticos y de mayor dinamismo, esta cantidad de nuevos servicios y dispositivos requieren características distintas. La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, *International Telecommunications Union*) planteó en su documento M.2083 IMT-2020 [2] para 5G, tres casos de uso fundamentales: Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB, *Enhanced Mobile Broadband*) el cual admite conexiones estables con velocidades de datos pico muy altas, Comunicaciones de ultra-baja Latencia y de Alta Confiabilidad (uRLLC, *Ultra-reliable and Low Latency Communication*) que soporta transmisiones de paquetes de pequeñas cargas útiles a muy baja latencia y con alta confiabilidad desde un conjunto limitado de terminales, y Comunicación Masiva tipo Máquina-Máquina (mMTC, *Massive Machine Type Communication*) el cual ad-

mite un número masivo de dispositivos conectados que solo están esporádicamente activos y envían una pequeña carga de datos, ver figura 1.

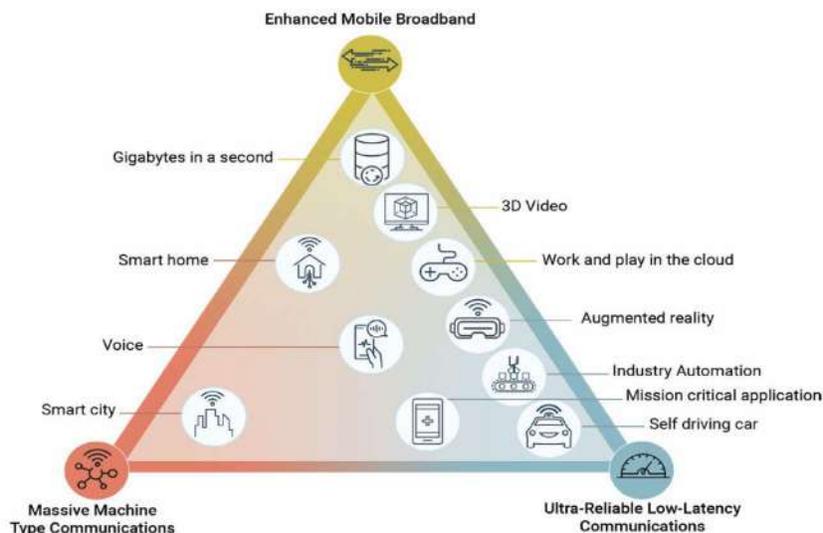


Figura 1. Casos de uso definidos por la ITU en el documento M.2083 [2]

2.1 Características y requerimientos de los servicios

Los servicios solicitados por los usuarios son tan diversos que los patrones que los distinguen como sus indicadores claves de desempeño o rendimiento (KPI, *Key Performance Indicator*) y de calidad (KQI, *Key Quality Indicators*) como su ancho de banda, latencias, pérdidas de paquetes, disponibilidad, tiempos de interrupción, etc., afectan la calidad de los servicios y la percepción de los usuarios [1].

Un operador de red necesita conocer la clasificación de los servicios que los usuarios requieran. Sin embargo, no solo se trata de identificar el servicio, si no que se deben conocer los indicadores claves de desempeño (KPI) y calidad (KQI) del mismo [3]; eso permitirá, entre otras cosas, que el operador asigne los recursos de red más adecuados, gestionar el desempeño y poder satisfacer las necesidades del usuario e inferir una mejor QoS/QoE. Por la heterogeneidad y requerimientos que tienen los servicios 5G, para un mejor soporte de la infraestructura de la red y una mejor QoS/QoE.

2.2 Evolución a una Arquitectura Basada en Servicios (SBA)

Los servicios previstos para 5G tienen demandas diferentes, lo que hace extremadamente complejo crear una sola red capaz de soportarlos a todos, y en caso de ser posible, el costo sería muy elevado [4]. Los distintos servicios que se demandan por una amplia gama de dispositivos (teléfonos inteligentes, dispositivos portátiles y sensores, entre otros) imponen requisitos sin precedentes a la arquitectura de red móvil actual de 4G, que utiliza el concepto “one size fit all” [4].

Es decir, todos los servicios son tratados de igual forma por la Red de Acceso al Radio (RAN, por sus siglas en inglés, *Radio Access Network*) (ver Figura 2). En este sentido, se puede inferir que la arquitectura de la red móvil 4G hace un aprovechamiento ineficiente de sus recursos cuando los requisitos para diferentes servicios se tratan de forma similar; ya que la red no sabe diferenciar las necesidades específicas de cada uno de ellos [5].

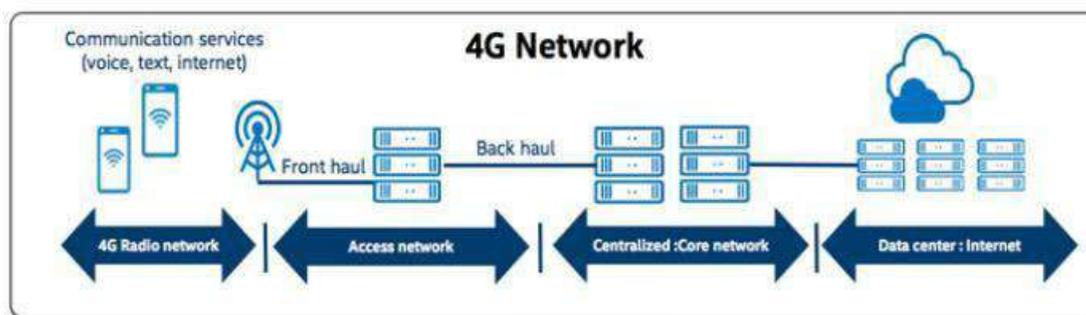


Figura 2. Arquitectura de la red móvil de 4G [6]

La tecnología 4G utiliza un ancho de banda y un espectro limitado, lo que significa que su capacidad para transmitir grandes cantidades de datos de manera eficiente es limitada. Además, el aumento constante de la demanda de servicios de comunicaciones móviles implica una mayor carga en la red y una disminución en la calidad de la señal [6].

Hoy en día se habla de segmentos de red muy específicos a un servicio solicitado y se hace una gestión de extremo a extremo debido a que 5G tiene un enfoque a servicios surge lo que se conoce como Arquitectura Basada en Servicios (SBA, *Service Based Architecture*), compuesta por un conjunto de funciones de red (virtuales) que se encargan de administrar el plano de usuario y de control. Donde la selección de los network slices se basa en la NFV (virtualización de funciones de red) y el tipo de servicio que se solicita por parte de un usuario.

En 5G, la Calidad de Experiencia (QoE, por sus siglas en inglés, *Quality of Experience*) de los usuarios, juega un papel fundamental. Por ese motivo, 5G se auxilia de tecnologías como SDN (red definida por software), NFV, ML y NS con el objetivo de perfeccionar la QoS, y también que la QoE sea lo mejor posible. Estas tecnologías permiten, además de mejorar la escalabilidad, flexibilidad y dinamismo de la red, la optimización de servicios en particular, y reducir así riesgos y costos [7].

La figura 3 refleja la SBA de la red 5G, definida por el Proyecto de Asociación de 3ra Generación (3GPP, por las siglas del término en inglés, *Third Generation Partnership Project*) en [8]. La SBA de 5G se compone por un conjunto de Funciones de Red (NF, por las siglas del término en inglés, *Network Function*) interconectadas, y encargadas de administrar el plano de usuario y de control. SBA se basa en funcionalidades de entidades de red que se convierten en servicios expuestos y ofrecidos a otras entidades de red. Estas funciones de red exponen su funcionalidad a través de Interfaces Basadas en Servicios (SBI, por las siglas del término en inglés, *Service Based Interfaces*) a través de un bus de mensajes SBI que implementa API RESTful sobre HTTP/2 [8].

Esencialmente, todas las NF pueden comunicarse entre sí mediante una solicitud/respuesta o interacciones de suscripción/notificación entre los consumidores y productores de servicios de NF. Desde el punto de vista de la seguridad, dicha comunicación requiere la protección de la confidencialidad y la integridad de los mensajes intercambiados, así como un fuerte mecanismo de autenticación y autorización [8].

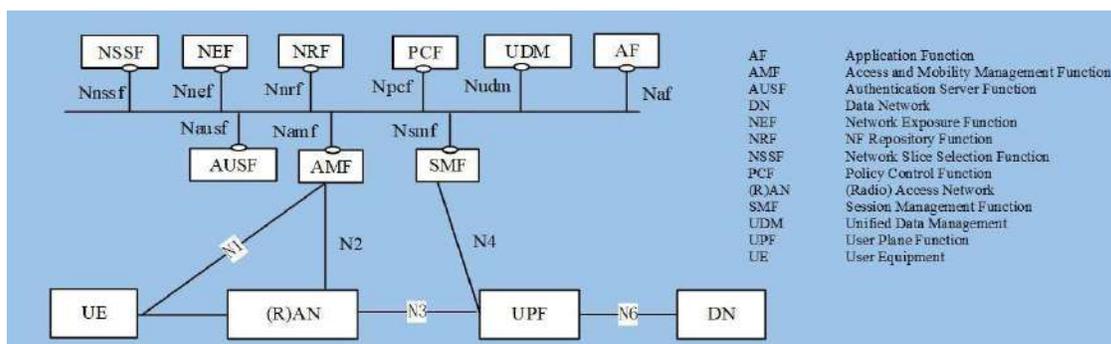


Figura 3. SBA de 5G definida por 3GPP [8]

2.3 Network Slicing y SBA

Network Slicing es un concepto que se ha propuesto para abordar los requisitos de servicios diversificados [9]. La idea básica de la segmentación de red es crear varias redes virtuales, es decir, segmentos sobre una infraestructura de red física común para proporcionar control y abstracción flexibles, centralizados y programables para las redes, así como eliminar el estrecho acoplamiento entre las funciones de red y unidades de hardware particulares [9].

Específicamente, un segmento de red es una red autónoma con sus propios recursos virtuales, topología, flujo de tráfico y reglas de aprovisionamiento que brindan al inquilino del segmento la capacidad de operar su propia red física dedicada. Estas redes lógicas se crean y administran al observar las demandas de los usuarios finales y los administradores y luego se proporcionan a diferentes servicios para cumplir con los diferentes requisitos de comunicación de los usuarios. Por lo tanto, la segmentación de redes se considera uno de los habilitadores claves de los sistemas 5G, ya que permite que las redes al ser dinámicas, ágiles y escalables, respondan rápidamente a los requisitos comerciales cambiantes [9].

La figura 4 muestra la arquitectura de NS en 5G definida para los tres casos de uso, previamente definidos por la ITU, y además se agrega un segmento de infraestructura física según [10]. Se aprecia cómo varios Equipos de Usuario (UE, por las siglas del término en inglés, *User Equipment*) solicitan servicios, las solicitudes se transportan por el segmento de red (*network slice*) que le corresponde, con la premisa de que los segmentos de red están diseñados en función de los requisitos específicos de cada caso de uso.

Sin embargo, en la actualidad se habla de un segmento (*slice*), para cada servicio en específico, más allá de un segmento por caso de uso (*use case*). Lo que se trata de un diseño muy *ad-hoc* al servicio solicitado por parte del usuario. Esta es otra premisa que refuerza la idea de tener un buen clasificador de servicios que

identifique lo mejor posible el servicio solicitado por el usuario para asignarle un NS, acorde a los parámetros de QoS que necesite para cumplir con el SLA.

La implementación de NS en 5G es de Extremo a Extremo (E2E, por las siglas del término en inglés, End-to-End), desde el núcleo hasta la RAN y un segmento se compone de una colección de funciones de red personalizadas lógicas que respaldan los requisitos del servicio de comunicación de un caso de uso particular [4]. Según [6], el NS habilita los elementos y las funciones de red para ser configuradas de una manera fácil en partes lógicas sobre una infraestructura de red física, con el objetivo de obtener múltiples redes virtuales optimizadas y garantizar la QoS requerida. Precisamente los proveedores de servicios de redes 5G manejan la idea de implementar segmentos múltiples aislados para una variedad de servicios en una infraestructura común.

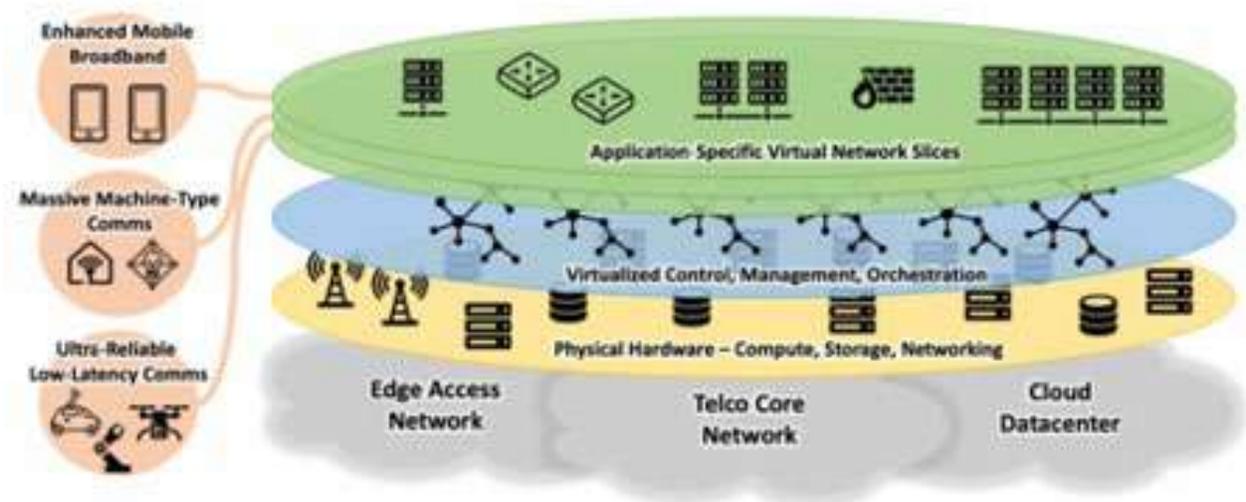


Figura 4. Relación Network Slicing y Virtualización [11]

2.4 Estándares 5G

En el vertiginoso mundo de las telecomunicaciones, donde la velocidad, la confiabilidad y la conectividad son esenciales, los estándares actúan como los pilares invisibles que sostienen la infraestructura tecnológica moderna. En el caso de la tecnología 5G, estos estándares son la columna vertebral que garantiza coherencia interoperabilidad y el avance continuo de esta revolucionaria red inalámbrica.

Es imperativo reconocer que los estándares para 5G son el resultado de una colaboración global sin precedentes entre organismos reguladores, industria y expertos en el campo. Entre los principales actores en este esfuerzo se encuentran la *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), la *International Telecommunication Union* (ITU), el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) entre otros. Estas instituciones se han comprometido a establecer las pautas que rigen el desarrollo y la implementación de 5G a nivel mundial. En la tabla 1, se muestran algunos de los estándares emitidos por estos organismos líderes, este resumen se consultó en [11].

Tabla 1. Estándares 3GPP mapeados en la arquitectura 5G [11].

Estándar	Título
TS 23.003	Numeración, direccionamiento e identificación
TS 23.122	Funciones sin estrato de acceso (NAS) relacionadas con la estación móvil (MS) en modo inactivo
TS 23.501	Directivas para UE en sistemas 5G
TS 23.502	Directivas para sistemas 5G (5GS)
TS 23.503	Marco de control de directivas y cargos para el sistema 5G (5GS), fase 2
TS 24.501	Protocolo NAS para sistemas 5G
TS 24.526	Directivas de equipos de usuario (UE) para sistemas 5G
TR 23.740	Estudio sobre la mejora del <i>Network Slicing</i>
TS 22.261	Requerimientos de servicios aa sistemas 5G, etapa 1
TS 29.500-29.526	Diversas especificaciones del sistema 5G, desde Realizaciones técnicas de la Arquitectura Basada en Servicios, hasta Especificaciones de <i>Network Slice</i> (20.500) y servicios de Autenticación y Autorización SNPN (29.526)

Se recomienda referirse al portal 3gpp.org [por ejemplo para la Serie 23, <https://www.3gpp.org/dynareport?code=23-series.htm>] para las Series de Especificaciones completas.

2.5 Arquitectura de pruebas de red 5G/B5G Extremo a Extremo

Desde su concepción de 5G, diversos autores muestran la arquitectura de la red enfocada a soportar y facilitar aplicaciones y servicios que requieren de recursos de red. La figura 5 muestra los principales elementos en la arquitectura de una red 5G para pruebas extremo a extremo, los cuales son Equipos de Usuario (UE), Acceso a la Red de Radio (RAN), Red de borde (Edge), red de Núcleo (*Core Network*).

Analizar cada una de las partes de esta arquitectura permite definir desde los equipos de usuario (desde sensores, *wearables*, dispositivos móviles, etc.) hasta equipos de radio, ruteo, antenas inteligentes pasando por software de seguridad, sistemas operativos y algoritmos para diferentes aplicaciones, por mencionar algunos.


Figura 5. Relación Network Slicing y Virtualización [11]

Existen requerimientos mínimos que el Instituto debe considerar para poder facilitar la instrumentación de la experimentación, simulación y pruebas 5G a través de sinergias colaborativas, con la intención de poder agilizar la interacción de todos los agentes interesados en el desarrollo del ecosistema 5G.

Es así como el uso de la tecnología 5G requiere, al ser una tecnología de comunicación flexible, que las especificaciones (de los servicios considerados) estén lo más claras posible para el establecimiento de sus requisitos de desempeño y confiabilidad, por otra parte, los dispositivos inalámbricos deben cumplir con las especificaciones técnicas establecidas en los estándares dictados por: 3GPP, ETSI, la ITU, el IETF entre otras, con el objeto de garantizar la interoperabilidad de dispositivos en el camino para lograr la adecuada instrumentación.

2.5.1 Arquitectura de pruebas de red 5G Open RAN

Las soluciones Open RAN, basadas principalmente en interfaces abiertas, están diseñadas para brindar opciones en la elección de fabricantes y proveedores a lo largo de la cadena de valor.

Como se muestra en la figura 6, al desagregar las diferentes funciones de la red, se pueden desplegar redes compuestas por soluciones de diferentes fabricantes y proveedores, de esta manera se puede acceder a las soluciones que consideren mejores o que mejor se adapten a su propósito, así como a los requerimientos técnicos y funcionales establecidos.

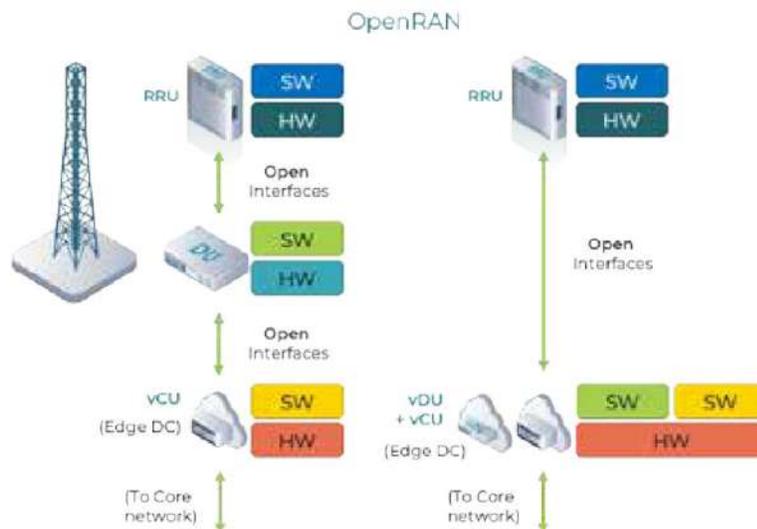


Figura 6. Arquitectura Open RAN [12].

2.6 Fases para el establecimiento de un plan de pruebas

La realización de pruebas efectivas, es un pilar fundamental en la implementación exitosa de la tecnología 5G/B5G en México. Un plan de pruebas meticulosamente diseñado no solo garantiza la funcionalidad y efi-

ciencia de las soluciones tecnológicas, sino que también asegura su adaptabilidad a las distintas realidades geográficas y socioeconómicas del país. En este contexto, es esencial comprender y seguir una serie de fases estratégicas que constituyen la base de un plan de pruebas sólido y efectivo.

En la Tabla 2, se muestran las diferentes fases que componen la creación de un plan de pruebas integral y adaptable. Desde la planificación inicial hasta la ejecución y evaluación de resultados, cada fase desempeña un papel esencial en la validación de las soluciones 5G/B5G. En [13] abordan estas fases de manera sistemática y colaborativa, se preparan para enfrentar los desafíos tecnológicos, que la tecnología 5G/B5G representa para las entidades que forman parte del ecosistema.

a) Fase de Planeación

Con la finalidad de contar con información necesaria para la planificación de las pruebas, será necesario desarrollar un cuestionario que permita recopilar información indicada en la segunda columna de la Tabla 2.

b) Fase de Diseño

En esta fase se debe considerar lo correspondiente a los requerimientos y las capacidades que se propone soportan las redes 5G para los casos de uso que se elijan conforme a las demandas y necesidades del país. Asimismo, se debe considerar conforme a los casos de uso y las aplicaciones seleccionadas, analizar los estándares involucrados para su inclusión en las camas de pruebas (*testbeds*) a implementar. Analizar y seleccionar el sistema de simulación de red más adecuado y necesario.

Adicionalmente, se debe diseñar la línea de tiempo para la realización de las pruebas, considerar sus requerimientos técnicos (KPI) de desempeño y de calidad (KQI) así como las necesidades para crear las maquetas de prueba y el presupuesto involucrado.

c) Fase de Ingeniería

Una vez determinados los recursos técnico-económicos, se debe desarrollar un plan de pruebas e implementar el testbed en el simulador seleccionado, considerar los parámetros y métricas técnicos, así como los factores que se deberán soportar durante el desarrollo de las pruebas. En adición, se deberá recopilar y analizar la información derivada de las pruebas de laboratorio.

d) Pruebas de Campo Prototipo

Recrear las pruebas en el *testbed* de laboratorio (*testbed*) en una red de campo prototipo. La recreación deberá considerar los parámetros de las pruebas de laboratorio (p. ej. Soporte 4G, 5G, frecuencias de subida/bajada, aplicaciones AR/VR, vehículos autónomos, etc.). Mediciones de parámetros, recopilación de experimentación, verificación, validación y comparación con resultados de pruebas de laboratorio y hacer ajustes.

Tabla 2. Fases y tareas correspondientes a la experimentación y pruebas.

Fases de Experimentación, Pruebas y Validación	Tareas a ejecutar
1. Fase de Planeación	Los casos de uso, Los escenarios, Las aplicaciones potenciales de ser implementados, La densidad de usuarios Cantidad y tipo de tráfico Movilidad Disponibilidad Requerimientos de seguridad Los parámetros de desempeño, parámetros de calidad Banda de frecuencias (espectro radioeléctrico) de operación Analizar y seleccionar el sistema de simulación de propagación de espectro radioeléctrico y de interferencias a los servicios adyacentes
2. Dentro de la fase de diseño	Casos de uso, aplicaciones y servicios seleccionados Analizar estándares involucrados para su inclusión en los <i>testbeds</i> a implementar. Analizar y seleccionar el sistema de simulación de red más adecuado y necesario.
3. Fase de Ingeniería	Desarrollar un plan de pruebas e implementar el <i>testbed</i> de pruebas en simuladores Considerar los parámetros y métricas técnicas, así como los factores que se deberán soportar durante el desarrollo de las pruebas Recopilar y analizar información de pruebas de laboratorio
4. Pruebas de campo prototipo	Recrear las pruebas en <i>testbed</i> de laboratorio en una red de campo prototipo (condiciones similares) Mediciones de parámetros Recopilación de experimentación, verificación y validación Comparación con resultados de pruebas de laboratorio Hacer los ajustes que se consideren apropiados

3. Laboratorios para simulación y experimentación 5G

El despliegue de tecnologías 5G presenta una serie de retos, ya que, con la finalidad de proporcionar una comunicación rápida y expedita, extremo a extremo de los usuarios, todas las partes involucradas como los operadores de servicios de telecomunicaciones, los proveedores de servicios y medios y los fabricantes de equipos TIC, deben de trabajar en forma muy estrecha. Lo anterior es importante debido a que se habilitará con ello, la conexión de dispositivos con requisitos muy diversos, los cuales requieren ser probados. Ante la dificultad de realizar experimentación sobre funcionamiento e interoperabilidad en cada etapa o segmento en una red operativa, la alternativa es realizarlas en laboratorios, en este sentido, para la materialización exitosa de la experimentación y simulación en el ámbito de la tecnología 5G/B5G se requiere un enfoque de colaboración y sinergia entre diferentes actores clave. Para llevar a cabo estas actividades con eficacia, se propone explorar la creación de una red de laboratorios interconectados que englobe instituciones académicas, operadores de telecomunicaciones, empresas privadas del sector y organismos gubernamentales. Cada uno de estos tipos de laboratorios desempeña un papel esencial en la construcción de un ecosistema robusto de pruebas y desarrollo de tecnologías avanzadas.

Se pretende de manera inicial que las distintas pruebas sean en laboratorios destinados ex profeso para 5G. De acuerdo con la literatura, se consideran cuatro tipos de laboratorios: Los de las compañías operadoras de redes móviles (con equipos grado operador que puede ser desplegado en redes), los de laboratorios fabricantes de equipos, los de laboratorios de instituciones federales (SICT, IFT, CFE, etc.) y finalmente los de laboratorios de universidades e institutos de investigación (con plataformas open-source). Crear testbeds para experimentaciones básicas y aplicadas para simulación de experimentos equipos de cualquier fabricante y considerar características de infraestructura de redes independiente del fabricante u operador).

En esta sección, se explora cómo cada tipo de laboratorio contribuirá a este objetivo.

3.1 Laboratorios Académicos (Universidades y Centros de Investigación)

Los laboratorios académicos se presentan como espacio idóneo y con la capacidad de ofrecer un entorno de investigación neutral y multidisciplinario. Su enfoque se centra en la exploración de conceptos innovadores, para la identificación de casos de uso emergentes y la generación de soluciones innovadoras y de conocimientos fundamentales y que atienda a las particularidades de cada región. Deben enfocarse en priorizar los siguientes puntos:

- La identificación de desafíos tecnológicos únicos en contextos diversos.
- Desarrollar y probar nuevos protocolos y tecnologías relacionadas con 5G/B5G.

- Explorar casos de uso disruptivos y aplicaciones de próxima generación.
- Proporcionar un entorno de pruebas flexible y escalable para validar hipótesis y prototipos.
- Superar los desafíos de conectividad en zonas geográficamente remotas o desfavorecidas.
- La colaboración con comunidades locales para comprender sus particularidades y diseñar soluciones inclusivas.
- Fomentar la investigación colaborativa entre estudiantes, investigadores y la industria.
- La formación de recursos humanos capacitados y conscientes de las particularidades regionales.

3.2 Laboratorios de Operadores de Telecomunicaciones

Los laboratorios establecidos por operadores de telecomunicaciones tienen una visión orientada a la implementación práctica y la optimización de soluciones. Sus esfuerzos se centran en la validación de conceptos en entornos reales y la adaptación de la tecnología para el despliegue comercial. Estos laboratorios desempeñarán un papel esencial en el despliegue de soluciones tecnológicas que se adapten a las distintas realidades geográficas y socioeconómicas del país. Estos laboratorios deben enfocarse en:

- Evaluar el rendimiento de soluciones 5G/B5G en escenarios de red reales.
- Optimizar la interoperabilidad de equipos y dispositivos de diferentes proveedores.
- Realizar pruebas de carga y estrés para identificar posibles cuellos de botella.
- Contribuir a la definición de estándares y mejores prácticas en colaboración con la industria.
- Adaptar las soluciones tecnológicas a las infraestructuras preexistentes y a las condiciones geográficas específicas.
- Superar los desafíos de conectividad en zonas geográficamente remotas o desfavorecidas.
- Explorar modelos de negocio flexibles que se ajusten a las capacidades económicas de cada región.

3.3 Laboratorios de Instituciones Gubernamentales

Los laboratorios establecidos por instituciones gubernamentales cumplen un papel fundamental en la creación de un marco regulatorio sólido y en la evaluación del impacto de la tecnología en la sociedad, considerando las diferencias geográficas y socioeconómicas de las regiones. Su enfoque se centra en la supervisión, la seguridad y la adopción responsable de la tecnología 5G/B5G. Estos laboratorios deben enfocarse en:

- Evaluar el cumplimiento de regulaciones y estándares de seguridad en las implementaciones.
- Realizar pruebas de seguridad cibernética y análisis de vulnerabilidades.
- Monitorear el impacto en la salud y el medio ambiente de las tecnologías inalámbricas.
- Proporcionar datos y análisis que respalden la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades.
- Evaluar la aplicabilidad de regulaciones en diferentes contextos regionales.
- Monitorear los impactos sociales y económicos de la tecnología en cada región.
- Definir políticas públicas que promuevan la equidad tecnológica y el acceso inclusivo.
- Colaborar con autoridades locales para asegurar que la tecnología beneficie a todas las comunidades.

La interconexión estratégica de estos laboratorios se traduce en un ecosistema dinámico y colaborativo, donde la innovación se fomenta a través de la interacción entre la investigación pura, la implementación práctica y la regulación responsable. Esta red de laboratorios no solo contribuirá al avance tecnológico, sino que también garantizará un despliegue 5G/B5G que sea seguro, eficiente, beneficioso y equitativo en todas las regiones de México, respetando sus características geográficas y sociales.

3.4 Laboratorios de empresas privadas

Los laboratorios de empresas privadas del sector de telecomunicaciones, estarán enfocados en redes privadas LTE y 5G así como otros elementos tecnológicos susceptibles a integrarse y beneficiarse de la conectividad, capacidad, desempeño y seguridad de esta tecnología, para automatizar y mejorar sus procesos industriales productivos.

Los sectores de mayor interés para experimentar casos de uso en redes privadas son:

- Manufactura.
- Construcción.
- Puertos.
- Transporte y logística.
- Minería.
- Agricultura.
- Energía.

El marco de pruebas cubriría lo relacionado a desempeño, calidad de la transmisión de datos, interoperabilidad entre plataformas y seguridad de los datos.

Asimismo, estos laboratorios estarían abiertos a la participación de la academia y cumplirían funciones de demostración para otras empresas interesadas en beneficiarse de esta tecnología.

Tabla 3. Tipos de laboratorios para la experimentación y pruebas [11]

Laboratorios de simulación académicos	Laboratorios federales/gobierno	Laboratorios privados (operadores-fabricantes de equipos)
<p>Diseñados para experimentar, simular distintos escenarios de redes de telecomunicaciones</p> <p>Simulación y experimentación independientes de marcas y proveedores</p> <p>Diseño de experimentos conceptuales, estandarizados, y de independencia de tecnología.</p> <p>Plataformas abiertas (<i>open sources</i>) con personal académico para operar plataformas, conocimientos generales para diseñar, ejecutar camas de pruebas (<i>testbeds</i>).</p>	<p>Opción para pruebas en exteriores a campo abierto y pruebas específicas (por ejemplo, pruebas de seguridad y vulnerabilidad, UAV y vehículos autónomos).</p> <p>Enfoque directo para las necesidades de pruebas de las agencias federales alineado con el propósito del laboratorio.</p> <p>Tener personal para operar camas de pruebas y realizar pruebas.</p> <p>Las agencias pueden pagar por las instalaciones y servicios de prueba a través de acuerdos interinstitucionales.</p> <p>Puede haber costos adicionales para User Equipment (UE) y otros equipos no proporcionados por el laboratorio.</p>	<p>Los laboratorios de integración interna están diseñados para pruebas de conformidad, integración e interoperabilidad para las redes de producción de los operadores y, en general, no disponible fuera del operador y sus proveedores.</p> <p>Los laboratorios de innovación externos son para aplicaciones, pruebas de tecnología y exhibición y están abiertos para uso público, pero generalmente en una escala pequeña .</p>

3.5 Espectro Radioeléctrico de Experimentación y Prueba

Para la estandarización de pruebas que permitan cumplir con las necesidades específicas de los casos de uso se considera necesario validar las bandas de frecuencias en las cuales se llevará a cabo los casos de pruebas, tomando como base que 5G está diseñado para operar en una amplia gama de frecuencias, por lo que se recomienda atender la regulación emitida por el IFT en la materia.

Es de gran importancia que para los ambientes de prueba se haga un análisis previo para identificar las bandas de frecuencias óptimas para los casos de uso, ya que esto permitirá:

- Validar las capacidades necesarias para el caso de uso de la banda de frecuencia asignada.
- Implementar y probar los escenarios de casos de uso en las condiciones más cercanas posibles a un ambiente operativo

4. Marco de referencia para simulación y pruebas

En el mundo, las redes 5G aún no se encuentran implementadas en su totalidad, y tienen requerimientos de una conectividad ultrarrápida y la proliferación de dispositivos inteligentes, se están conectando de una forma masiva. Por este motivo, es fundamental contar con una guía sólida y estratégica para evaluar y perfeccionar esta tecnología. A continuación, se define un marco de referencia para simulación y pruebas, que se erige como una brújula esencial para llevar a cabo estos procesos de las pruebas y simulaciones de redes 5G.

A través de una serie de pasos fundamentales, este marco aborda el desafío de asegurar que las redes 5G estén preparadas para una variedad de casos de uso, desde aplicaciones de alta velocidad hasta soluciones de misión crítica. En la figura 6, se muestra un diagrama de los pasos de este marco.

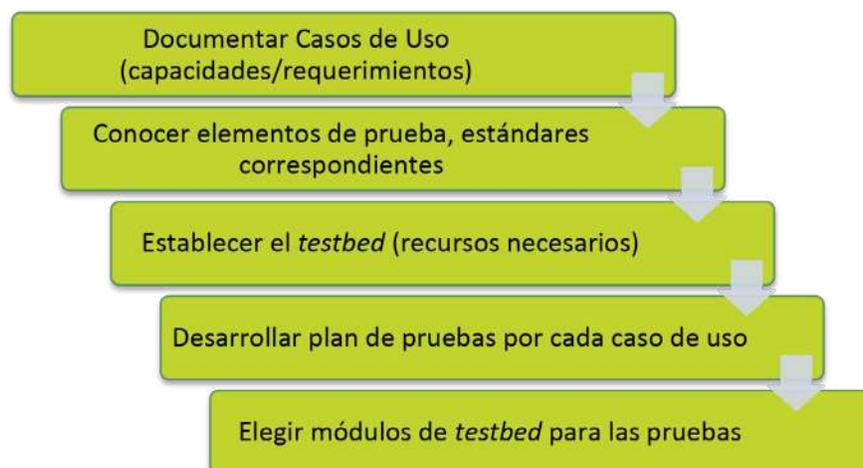


Figura 6. Pasos para establecer las pruebas de tecnologías

Como se puede ver, se empieza por la documentación meticulosa de los casos de uso, desglosando los requerimientos de servicios desplegados en redes 5G. Luego, hay que empear dichos requerimientos de los casos de uso con los estándares relacionados. Esto es fundamental para explorar los elementos de prueba necesarios para garantizar que las redes cumplan con las expectativas de rendimiento y confiabilidad.

Con esta base sólida, el próximo paso es la creación de entornos de prueba (*testbeds*) que simulan las condiciones del mundo real. Esto brinda un espacio controlado para evaluar y optimizar las redes 5G. Aquí es donde se desarrollarán planes de pruebas específicos para cada caso de uso, detallando los escenarios, métricas y procedimientos necesarios para una evaluación exhaustiva.

Finalmente, se establecerán los *testbeds* necesarios para implementar estos planes de pruebas, asegurando que los escenarios de simulación se correspondan fielmente con las realidades operativas. En conjunto, es-

tas fases conforman un marco de referencia integral que no solo garantiza el rendimiento y la fiabilidad de las redes 5G, sino que también impulsa la innovación y la adopción de estas tecnologías transformadoras.

4.1 Requerimientos tecnológicos para el diseño.

Los factores por considerar para el diseño de escenarios de pruebas son amplios e incluyen desde tomar la decisión de cuáles serían los servicios (aplicaciones) a probar en primera instancia. Con base en eso, armar el escenario (proponer una red de prueba) que deberá incluir, equipo de usuario, radiobases, y número de usuarios, para realizar distintas pruebas de desempeño (*performance*) y de QoS de extremo a extremo. Ante la dificultad de armar redes *in situ*, la propuesta inicial se puede diseñar usando *testbeds* los distintos escenarios en simuladores con la utilización de parámetros indicados en los estándares referidos a este tipo de redes.

Con base en lo presentado tanto en la Mesa de trabajo No. 3 y en la Mesa No. 6 se proponen los siguientes pasos para el desarrollo de Experimentación y Pruebas de Servicios 5G/B5G.

1. Definir el servicio/aplicación 5G/B5G a simular.
2. Alinear/Enlazar la aplicación con el Caso de Uso correspondiente (eMBB, mMTC, urLLC).
3. Determinar los requerimientos y las especificaciones técnicas correspondiente a dicho servicio/aplicación.
4. Precisar los estándares que aplican, así como los lineamientos de espectro radioeléctrico y de dispositivos, tal como lo indica el IFT.
5. Armar el escenario de simulación para ser implementado en campo de pruebas (*testbed*). Hay que destacar que las *testbed* pueden ser propias (de campus) o de los proveedores/fabricantes.
6. Obtener los resultados de simulación.

A manera de ejemplo, se muestra tanto el plan de pruebas y experimentación 5G, efectuando el análisis de asignación de recursos de red en los escenarios que se indican en las tablas 4 y 5. La tabla 4 muestra el emparejamiento de distintos servicios o aplicaciones con los casos de uso definidos por la ITU.

Tabla 4: Emparejamiento de escenarios con casos de uso [22]

No.	Aplicación-servicio	Caso de uso ITU
1	Seguridad pública, ambiental y desastres naturales. eHealth, monitoreo de pacientes , teleconsultas, etc. Educación a distancia, reuniones virtuales y entretenimiento a distancia. Inclusión financiera y ciberseguridad.	urLLC, eMBB
2	Trabajo a distancia, adopción de 5G/B5G, MiPymes, la industria 4RI , el eCommerce, etc.	mMTC, urLLC
3	Hogares/ciudades/regiones inteligentes . Agua, energía, agricultura, y sistemas de Transporte Inteligente (ITS).	mMTC, urLLC
4	Entretenimiento bajo demanda (video streaming) , juegos (<i>gaming</i>) y redes sociales.	eMBB

La tabla 5, resume las propuestas de experimentación y pruebas con los escenarios de interés adicionalmente con los niveles en los que se realizan las pruebas, es decir, probar equipos, componentes, prueba de red, los servicios, las aplicaciones entre otras.

Tabla 5. Escenarios de interés propuestos para experimentación y pruebas considerando niveles [22]

Escenario de Interés	Experimentación- Pruebas propuestos	Caso de uso (eMBB, mMTC, urLLC)	Campo de Actividad	Algoritmos	Aplicaciones/servicios	Componentes	Equipos	Redes
eSalud (<i>eHealth</i>)	Monitoreo remoto de pacientes	urLLC/mMTC	Social	X	XXX	XX	X	XX
industria 4RI, innovación, Minas	Industria Minera conectada	mMTC/urLLC	Económico	X	XX	XX	X	XX
Ciudades, regiones y hogares inteligentes	Observatorios de regiones inteligentes (Smart Region)	mMTC/urLLC	Sistemas Inteligentes	XX	XXX	X	XX	X
<i>video streaming</i>	VOD, eScience Educación inmersiva	eMBB	Medios- Entretenimientos	XX	XXX	X	X	X
Redes en campus	Campus Inteligentes	eMBB, mMTC, urLLC	Academia	XX	XXX	XX	X	X

Adicionalmente, se recomienda que para el diseño de los requerimientos técnicos para la realización de las pruebas de los servicios y aplicaciones se deberán considerar los requerimientos técnicos que estén basados en los distintos estándares emitidos por entidades como ETSI, UIT, 3GPP entre otros.

4.2 Ejemplo de implementación de pruebas para un caso de uso

Como ejemplo, se explora el escenario de implementación y pruebas del Monitoreo remoto de Pacientes dentro del tema *eHealth* [23]. El monitoreo remoto de pacientes es ampliamente reconocido como una herramienta eficaz para abordar desafíos actuales y futuros relacionados con la provisión de servicios de salud. Se considera el motor más eficiente y proactivo en la entrega de servicios de salud y gestión de enfermedades crónicas. La utilización de sensores especializados colocados en diferentes partes del cuerpo humano, como son los dispositivos conocidos como vestibles (“*wearables*”) y demás dispositivos *eHealth* colectan atributos de los pacientes, miden determinada variable y transmiten los resultados a través de la red usan-

do distintas tecnologías, de esta forma pueden analizarse sin que el paciente viaje a instituciones de salud. Por ejemplo, el control del paciente en el hogar puede ayudar a aumentar la capacidad de los sistemas de salud mediante la reducción de la ocupación de camas en los hospitales. Asimismo, se puede utilizar para la evaluación del estado de salud y bienestar de las personas mayores. Por su potencial impacto en la prestación de servicios de salud mediante nuevos paradigmas, el seguimiento remoto de pacientes ha atraído una atención considerable de las comunidades industriales y académicas.

Muchas de las aplicaciones de *eHealth*, incluyendo el monitoreo remoto, se basan en el Internet de las Cosas, tecnología que permite la integración e intercomunicación entre diferentes dispositivos. La salud humana se puede monitorear observando diferentes parámetros, y para cada parámetro se pueden requerir diferentes sensores. Las soluciones más comunes propuestas en la literatura se centran en: diabetes, monitorización de la frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno, enfermedades pulmonares, etc. Estas son solo algunas de las aplicaciones más tratadas en la literatura cuando se menciona el tema de monitoreo remoto de pacientes usando IoT, pero hay muchas más, como medición de temperatura, hidratación, actividad cerebral, peso, etc. Este es un campo en continuo desarrollo, donde cada día se descubren nuevos parámetros y se crean nuevos dispositivos.

El monitoreo de cuidado de la salud genera una gran cantidad de datos por el número elevado de dispositivos, donde la tecnología WiFi no es suficientemente rápida ni confiable, asimismo, el contar con un mayor ancho de banda se vuelve clave y permitirá la monitorización con vídeo HD, por estas razones se requiere de las facilidades de la tecnología de comunicaciones 5G.

Para el caso específico del monitoreo remoto de pacientes, depende del número y del tipo de variable que se está midiendo, y del estado de salud del paciente. No pueden tratarse igual los datos de mediciones periódicas de presión de sangre que los de un marcapaso, o los de una persona joven a los de una persona de edad avanzada o con serios problemas de salud. El monitoreo remoto de pacientes necesita tanto de mMTC como de urLLC, y es la propia tecnología 5G la que debe diferenciar entre los diferentes servicios de acuerdo con la aplicación. En el artículo [23] de la compañía STL Partner, se muestran 10 casos de uso que vienen a transformar la industria de la salud al moverse al mundo digital

A continuación, en la Tabla 6 se detalla a manera de ejemplo, el servicio Monitoreo remoto de pacientes en el escenario de eSalud (*eHealth*):

Tabla 6. Ejemplo de seguimiento a los pasos indicados líneas arriba [23]

1. Definir el servicio/aplicación 5G/B5G a simular	eSalud (eHealth) monitoreo remoto de pacientes
2. Alinear/Enlazar la aplicación con el Caso de Uso	mMTC, urLLC
3. Determinar los requerimientos y las especificaciones técnicas	<p>Latencia mínima-máxima (mseg)</p> <p>Ancho de banda (BW)</p> <p>Capacidad (No. De dispositivos conectados)</p> <p>Confiabilidad (%)</p> <p>Movilidad</p> <p>Vida batería</p>
4. Precisar los estándares	ETSI, UIT, 3GPP entre otros, que apliquen en el caso de uso.
5. Armar el escenario de simulación	Se deberá indicar, la comunicación desde el/los dispositivos(s) sensores, que generan la información del estado del paciente, su transmisión hasta el centro monitor. Alimentar los simuladores con los datos que corresponda a cada etapa.
6. Obtener los resultados de simulación	Se deberá analizar, hacer ajustes en el diseño, volver a simular (tantas veces como se considere necesario) y comparar los resultados con los especificados en documentos oficiales para verificar su cumplimiento.

5. Protocolo ESP-5G

En el ámbito de constante evolución de las redes 5G, la necesidad de una evaluación rigurosa de los elementos tecnológicos se hace cada vez más apremiante. Para abordar esta necesidad se ha diseñado un protocolo que establece y precisa pautas sobre la documentación para evaluar los componentes tecnológicos clave durante el proceso de experimentación, simulación y pruebas 5G. Es decir, dada la naturaleza exploratoria de los procesos, este protocolo actúa como un instrumento fundamental para garantizar la claridad, coherencia y exhaustividad en la identificación y evaluación de los elementos tecnológicos, por lo que, el protocolo debe ser un documento detallado que establezca los pasos y procedimientos a seguir durante la realización de ESP-5G y en el cual se identifiquen los elementos tecnológicos que serán evaluados.

Existen requerimientos mínimos que el Instituto debe considerar para poder facilitar la instrumentación de la experimentación, simulación y pruebas 5G a través de sinergias colaborativas, con la intención de poder agilizar la interacción de todos los agentes interesados en el desarrollo del ecosistema 5G. A continuación, se describen algunos de dichos requerimientos, los cuales se deben incluir en un protocolo:

1. **Título y resumen:** El protocolo debe tener un título descriptivo que refleje el objetivo principal de ESP-5G. Además, se debe proporcionar un resumen breve que sintetice el experimento y su finalidad.
2. **Introducción:** En esta sección se proporciona el contexto y la justificación del ESP-5G. Se debe describir el problema a resolver o la pregunta de investigación, destacar su relevancia y revisar la literatura existente sobre el tema.
3. **Objetivos:** Se deben establecer claramente los objetivos del ESP-5G, es decir, los logros específicos que se esperan alcanzar al finalizar el estudio.
4. **Alcances:** Identificar los alcances de las pruebas, las cuales se pueden clasificar en pruebas técnicas y pruebas funcionales, ámbito de aplicación, etc.; estos servirán entre otras cosas, como una entrada para desarrollar el plan de calidad.
5. **Beneficios esperados:** Identificar los beneficios esperados, cuantitativos y cualitativos de la experimentación y pruebas a realizar.
6. **Riesgos Iniciales:** Registrar los riesgos iniciales identificados y que servirán de entrada entre otros para desarrollar el plan de riesgos del proyecto.
7. **Exclusiones:** En esta parte se deben identificar todos los aspectos, componentes, servicios, etc., que estarán fuera del proyecto de experimentación y pruebas.

8. **Metodología:** Esta sección es crucial y debe describir en detalle en el ESP-5G. Incluye aspectos como el diseño del estudio, la selección de la muestra, los instrumentos de recolección de datos, los procedimientos de recolección y análisis de datos, así como cualquier intervención o manipulación experimental.
9. **Diseño experimental:** Se debe describir en detalle el diseño de ESP-5G de manera clara y precisa incluyendo todos los elementos tecnológicos que serán evaluados, los métodos y enfoques que se utilizarán. Esto incluye la identificación de las variables independientes, las variables dependientes y cualquier variable de control. También se deben establecer los grupos de tratamiento, si corresponde, y el tamaño de la muestra.
10. **Procedimientos experimentales:** Se debe describir paso a paso cómo se llevará a cabo el ESP-5G. Esto incluye los materiales y equipos necesarios, el orden de las actividades, los métodos de manipulación de variables y la forma de recolectar los datos.
11. **Consideraciones éticas:** Es esencial abordar las consideraciones éticas relacionadas con el ESP-5G. Esto puede incluir obtener el consentimiento informado de los participantes, garantizar la privacidad y confidencialidad de los datos y el uso ético de los mismos, así como cumplir con los estándares y las regulaciones aplicables.
12. **Recolección de datos:** Se debe describir cómo se recolectarán los datos durante el ESP-5G. Esto puede incluir la utilización de instrumentos de medición, los procedimientos de registro de datos y cualquier otra técnica específica.
13. **Análisis de datos:** Se debe especificar cómo se analizarán los datos recolectados. Esto puede incluir técnicas estadísticas, software utilizado y los criterios para la interpretación de los resultados.
14. **Cronograma:** Se debe proporcionar un cronograma detallado que indique las distintas etapas de ESP-5G desde la preparación y ejecución hasta el análisis y la redacción de los resultados.
15. **Referencias bibliográficas:** Se deben listar las referencias bibliográficas de los estudios previos y la documentación y fuentes consultadas para fundamentar el experimento.
16. **Recursos necesarios:** Es importante identificar y describir los recursos necesarios para llevar a cabo la ESP-5G, como el personal, los equipos, los materiales, el acceso a bases de datos u otras fuentes de información, costos de los equipos, los costos fijos, los costos variables, garantías, los honorarios de los participantes o cualquier otro costo relacionado.

Estos son algunos de los aspectos y elementos relevantes que se deben incluir en un protocolo, sin embargo; es importante adaptar el mismo a las necesidades y requisitos específicos del ESP-5G en cuestión. Un protocolo completo y detallado garantizará la consistencia, la replicabilidad y la validez de los resultados obtenidos en el proceso.

6. Principales retos y conclusiones

6.1 Retos

La creación de un documento como este, que busca guiar la implementación de pruebas y simulaciones en el contexto de las redes 5G, no está exenta de desafíos significativos. Desde una perspectiva objetiva, se identifican retos claves a enfrentar durante el proceso de elaboración de este documento:

1. **Complejidad Tecnológica:** La tecnología 5G/B5G es inherentemente compleja, con numerosos componentes y protocolos independientes. Comprender y abordar esta complejidad de manera clara y concisa en el documento es un reto importante.
2. **Diversidad de casos de uso:** Las redes 5G son versátiles y deben satisfacer una amplia variedad de casos de uso, desde la transmisión de datos de alta velocidad hasta aplicaciones críticas para la misión. Integrar y equilibrar estas diversas necesidades en el marco de referencia es un desafío complejo.
3. **Variedad de estándares y definiciones:** En el entorno de las redes 5G/B5G, existe una multiplicidad de estándares y una diversidad de definiciones en torno a servicios, aplicaciones y casos de uso. Esto crea un desafío para la claridad y la estandarización en el documento.
4. **Utilización de Simuladores de red:** Se propone que la experimentación y pruebas se realicen mediante simuladores de red, diseñando escenarios de red y aplicando los casos de uso definidos por la ITU en el documento M.2083, siguiendo los estándares correspondientes.
5. **Acceso a Plataformas de Simulación Privadas:** Las plataformas de simulación privadas a menudo requieren licencias especiales. Esto representa una barrera financiera significativa para muchas instituciones académicas, ya que limita su capacidad para llevar a cabo pruebas y experimentos.
6. **Disponibilidad de datos de desempeño:** Dada la dificultad para obtener bases de datos de redes 5G/B5G en operación para laboratorios académicos, con el objetivo de que los resultados se asemejen a las reglas reales en operación, será necesario generar datos siguiendo los parámetros definidos en los estándares y coordinarse con operadores privados para su consecución.
7. **Regulación del espectro radioeléctrico:** Es fundamental asegurar que las pruebas y experimentaciones se realicen en la banda de frecuencias indicadas, cumpliendo con las regulaciones del espectro radioeléctrico y la protección contra interferencias a los servicios de bandas adyacentes.

8. **Seguridad y privacidad:** Las redes 5G plantean desafíos adicionales en términos de seguridad y privacidad. Asegurarse de que el marco de referencia incluya consideraciones sólidas en estos aspectos es esencial.
9. **Coordinación Interinstitucional:** Coordinar el trabajo colaborativo entre la industria, la academia y las dependencias gubernamentales es un desafío clave para garantizar la efectividad de las pruebas y experimentaciones.
10. **Colaboración con operadores de telecomunicaciones y con proveedores de contenidos y servicios:** Lograr una colaboración efectiva con los operadores de telecomunicaciones es crucial, ya que desempeñan un papel central en la implementación y operación de redes, así como son innovadores y ejecutores fundamentales de servicios 5G/B5G.
11. **Evaluación continua de impacto:** Evaluar el impacto y la efectividad del marco de referencia a medida que se implementa es un reto constante. Se requiere un monitoreo y evaluación rigurosa para garantizar que las recomendaciones se traduzcan en resultados concretos.
12. **Actualización continua del documento “Guía para la Experimentación, Simulación y Pruebas 5G”.** Debe establecerse como una necesidad imperante para todos los agentes del sector, la coordinación continua para enriquecer y actualizar el documento a medida que se requiera y de ser posible periódicamente, con el objeto de abordar los requerimientos mínimos necesarios que se prevean en el campo de la experimentación, simulación y pruebas con 5G/B5G. Aprender del mecanismo de coordinación que propició este documento e impulsar una mayor participación.

Enfrentar estos retos requerirá un enfoque colaborativo, la adaptación continua y un compromiso firme con el objetivo de proporcionar un marco de referencia efectivo y relevante para las pruebas y simulaciones en el contexto de las redes 5G en México.

6.2 Conclusiones

En el transcurso de este documento, se ha explorado un panorama de tecnologías 5G/B5G, sus aplicaciones y desafíos, y los pasos necesarios para garantizar su implementación exitosa en México. A continuación, se resumen estas conclusiones:

1. **Las Redes 5G/B5G son la base de la Transformación Digital:** Las redes 5G/B5G son el cimiento de la transformación digital en México, lo que permite una conectividad más rápida y confiable para una amplia gama de aplicaciones y servicios.
2. **Diversidad de Casos de Uso:** México es un país diverso con una amplia variedad de casos de uso para las redes 5G, desde servicios de alta velocidad hasta aplicaciones críticas. La flexibilidad y la adaptabilidad son esenciales para satisfacer estas diversas necesidades.

3. **Importancia de los Estándares:** Los estándares establecidos por organismos como la 3GPP, la ITU y el ETSI son esenciales para garantizar la interoperabilidad y la coherencia en las redes 5G. Se debe promover la adopción de estos estándares en México.
4. **Regulación del Espectro Radioeléctrico:** El IFT debe desempeñar un papel activo en la regulación del espectro radioeléctrico para asegurar que las pruebas y experimentaciones se realicen en las frecuencias adecuadas, facilitando e impulsando el desarrollo e interoperabilidad de las redes 5G, tanto en redes públicas como privadas, en México.
5. **Colaboración Interinstitucional:** El éxito en la implementación de redes 5G/B5G requiere una colaboración efectiva entre la industria, la academia y el gobierno. El IFT desempeña un papel fundamental como catalizador de estas acciones colaborativas.
6. **Coordinación con Operadores y Proveedores:** El IFT debe fomentar la colaboración entre los operadores de telecomunicaciones y los proveedores de contenidos y servicios de entretenimiento para impulsar la innovación y la implementación de servicios 5G/B5G.
7. **Consideración con la Diversidad Geográfica y Socioeconómica:** México presenta diferencias significativas en términos de geografía y condiciones socioeconómicas entre las distintas regiones del país. El IFT debe liderar esfuerzos para garantizar que la implementación de 5G beneficie a todas las regiones de manera equitativa.

Este marco de referencia identifica escenarios, casos de uso, entre otros elementos y ayuda a entender la relevancia de éstos, lo cual es importante y necesario para guiar las pruebas 5G/B5G en México. Por otro lado, y no menos importante, se resalta la relevancia de la colaboración, y de establecer un plan de interacción conjunto donde se compartan las capacidades de los distintos laboratorios para las pruebas de redes privadas y públicas que lleve a un aprovechamiento y aprendizaje de la evaluación tecnológica.

7. Colaboradores

- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California- Dr. Jorge Enrique Preciado Velasco. Especial reconocimiento por haber liderado el proyecto.
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California - Mtro. Joan David González Franco.
- Academia de Ingeniería de México Dr. Francisco Javier Mendieta Jiménez
- Telecom Espectro y Soluciones América, S.A.P.I. de C.V.- Jorge Guillermo Barrera Medina
- Micronet de México, S.A. de C.V.- Pedro Germán Castillo Pineda
- Pedro García Rivera
- TXM Global Services, S.A. de C.V.- Victor José Plata Mazzotti
- Keysight Technologies- Luis Prado Calderón
- Instituto Politécnico Nacional- Miguel Sánchez Meraz
- Advance Wire & Wireless Laboratorios S.C.- José Zavala Chávez

Referencias Bibliográficas

1. Preciado Velasco, Jorge E., “Sistema clasificador de servicios 5G/B5G soportado por técnicas de *Machine Learning*”, Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Baja California (UABC), Ensenada, B. C., septiembre 2021.
2. ITU-R M.2083-0, “IMT Vision- Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond,” 2015. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-1!!!PDF-E.pdf
3. Z. Yousaf, “Deliverable D5.1 Definition of connectivity and QoE / QoS management mechanisms – intermediate report,” 2016. [Online]. Available: http://www.it.uc3m.es/wnl/5gnorma/pdf/5g_norma_d5-1.pdf
4. M. R. Sama, S. Beker, W. Kiess, and S. Thakolsri, “Service-based slice selection function for 5G,” in *2016 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 2016, doi: 10.1109/GLOCOM.2016.7842265.
5. X. Li *et al.*, “Network Slicing for 5G: Challenges and Opportunities,” *IEEE Internet Comput.*, vol. 21, no. 5, pp. 20–27, 2018, doi: 10.1109/MIC.2017.3481355.
6. 5gAmericas. (2016). Network Slicing for 5G Networks & Services. En *5G Americas White Paper* (Vol. 1, p. 34). http://www.5gamericas.org/files/3214/7975/0104/5G_Americas_Network_Slicing_11.21_Final.pdf
7. Schmelz, L. C., & Nok, C. M. (2017). *5G Mobile Network Architecture for diverse services, use cases, and applications in 5G and beyond* (Número 761445). https://5g-monarch.eu/wp-content/uploads/2017/10/5G-MoNArch_761445_D6.1_Documentation_of_Requirements_and_KPIs_and_Definition_of_Suitable_Evaluation_Criteria_v1.0.pdf
8. 3GPP. (2019). *3GPP TS 23.501 System Architecture for the 5G System: Vol. 16.0.2* (Número Release 16, p. 308). <http://www.3gpp.org>
9. Wu, W., Zhou, C., Li, M., Wu, H., Zhou, H., Zhang, N., Shen, X. S., & Zhuang, W. (2022). AI-Native Network Slicing for 6G Networks. *IEEE Wireless Communications*, 29(1), 96–103. <https://doi.org/10.1109/MWC.001.2100338>
10. Guan, W., Wen, X., Wang, L., Lu, Z., & Shen, Y. (2018). A Service-Oriented Deployment Policy of End-to-End Network Slicing Based on Complex Network Theory. *IEEE Access*, 6, 19691–19701. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2822398>

11. Federal Mobility Group, “5G Framework to Conduct 5G Testing”, USA Government, noviembre, 2020, <https://www.cio.gov/assets/files/Framework-to-Conduct-5G-Testing-508.pdf>
12. Anonymous, “How TIP is bringing market-ready Open RAN solutions together”, Telecom Infra Project, February 2016, access online 11 September 2023, <https://telecominfraproject.com/wp-content/uploads/TIP-Open-RAN-final.pdf>
13. Anonymous, “5G everywhere takes visibility anywhere, Monitoring 5G networks”, Netscout, online access September 11, 2023, <https://www.netscout.com/solutions/5g>
14. 5gAmericas, “Network Slicing for 5G Networks & Services,” 2016. Available: http://www.5gamericas.org/files/3214/7975/0104/5G_Americas_Network_Slicing_11.21_Final.pdf
15. S. Mumtaz, K. S. Huq, J. Rodriguez, and P. Marques, “D3.2: SPEED-5G enhanced functional and system architecture, scenarios and performance evaluation metrics (v1.0),” 2016
16. J. E. O. 5G P. Name, Lorca, “Deliverable D2.1 Scenarios, KPIs, use cases and baseline system evaluation,” 2017. [Online]. Available: <https://one5g.eu/documents/>
17. The Next Generation Mobile Networks Alliance, “NGMN Perspectives on Vertical Industries and Implications for 5G,” Berkshire, UK, 2016. [Online]. Available: https://www.ngmn.org/fileadmin/ngmn/content/images/news/ngmn_news/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf
18. Yi Ding, Aaron, Janssen, Marijn, “5G Application: Requirement, Challenges, and Outlook”, arXiv:1810.06057v1 [cs.NI], 2018
19. Tilemachos Doukoglou, Velissarios Gezerlis, et al, “Vertical Industries Requirements Analysis & Targeted KPIs for Advanced 5G Trials”, 2019. [online] https://www.researchgate.net/publication/335908008_Vertical_Industries_Requirements_Analysis_Targeted_KPIs_for_Advanced_5G_Trials
20. 3GPP ETSI, “TS 22.261 5G; Service requirements for next generation new services and markets (Release 15),” vol. TS 22.261, no. V15.5.0, pp. 0–52, 2018, [Online]. Available: <http://www.etsi.org/standards-search>
21. Next Generation Mobile Networks Alliance 5G Initiative, “NGMN 5G White Paper,” 2015. doi: 10.1021/la100371w.
22. Preciado Velasco, J.E., Mendieta Jimenez, F.J, Gonzalez Franco, J. D., “Plan de simulación en la experimentación y pruebas de servicio 5G/B5G”, Propuesta a Mesas de Trabajo 3 y 6, Comité Técnico en materia de despliegue de 5G en México, diciembre 2022, México.

23. Anonymous, “10 5G Healthcare use cases transformin digital health” Whitepaper, STL Partners, Available online <https://stlpartners.com/articles/digital-health/10-5g-healthcare-use-cases/>
24. T. Specification and G. Services, “3GPP TS 22.263 Service requirements for video, imaging and audio for professional applications (VIAPA),” Sophia Antipolis Cedex, France, 2019.
25. Mumtaz, K. S. Huq, J. Rodriguez, and P. Marques, “D3.2: SPEED-5G enhanced functional and system architecture, scenarios and performance evaluation metrics (v1.2),” 5GPPP, 2016.

Guía para
**“EXPERIMENTACIÓN,
SIMULACIÓN Y PRUEBAS 5G”**



MESA 6



Instituto Federal de Telecomunicaciones
Insurgentes Sur 1143, Col. Nochebuena,
Demarcación Territorial Benito Juárez,
C.P. 03720, Ciudad de México.

www.ift.org.mx