

DOCUMENTO DE REFERENCIA

CONCESIONES DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA EL DESPLIEGUE DE REDES PRIVADAS

1. Antecedentes

1.1 Concepto de red privada

A medida que las tecnologías móviles ofrecen más prestaciones y mejor desempeño, tales como las tecnologías 4G y de forma más reciente y destacada las tecnologías 5G, se ha incrementado el interés de diversos sectores productivos para incorporar estas tecnologías en sus procesos y lograr con ello mejoras en su productividad, eficiencia, competitividad y la seguridad de sus operaciones.

El concepto de red privada no es nuevo, toda vez que se basa en un esquema en el que los usuarios de dicha red constituyen un grupo cerrado, donde generalmente la infraestructura de red y los dispositivos son implementados y controlados por dicho grupo. Es así como, dentro del concepto general de una red privada se encuentran, por ejemplo, las redes de radiocomunicación especializada de flotillas (*trunking*) o radiocomunicación privada de dos vías usadas por empresas, radioenlaces fijos que interconectan edificios e instalaciones de una planta de producción, e incluso la red telefónica interna de una oficina.

Las tecnologías de banda ancha móvil, hasta hace no mucho, eran prácticamente de uso exclusivo de los grandes operadores de telecomunicaciones, para la provisión de servicios públicos de banda ancha móvil dirigidos al mercado masivo a nivel nacional o regional; dado que los costos de despliegue de la red, la complejidad de su implementación y la tecnología desarrollada estaban asociados a estos mercados, por lo que era poco probable que un agente, diferente a los operadores comerciales, accediera a este ecosistema. No obstante, en años recientes han surgido alternativas por las cuales empieza a hacer sentido económico y práctico para diversos sectores incorporar estas tecnologías en sus operaciones.

Gracias a la disminución de costos para acceder a la tecnología de redes 4G y 5G, la simplificación de los componentes de hardware y una mayor facilidad para su gestión; las economías de escala disponibles en los dispositivos de usuario y módulos de conectividad, y el surgimiento de múltiples casos de uso aplicados a una gran variedad

de procesos productivos, se ha desencadenado el interés de diversas industrias para acceder a estas tecnologías.

1.2 Tecnologías habilitantes

Las tecnologías de conectividad inalámbrica disponibles y desarrolladas comercialmente para redes privadas como 4G, 5G y Wi-Fi permiten un despliegue rápido de la red, con distintas prestaciones en términos de velocidad de transmisión de datos, seguridad de la información, latencia¹ y versatilidad en la configuración de las redes y de los servicios que se pueden ofrecer a través de ellas. En todos los casos, las redes de datos que utilizan tecnologías de conectividad inalámbrica prescinden del uso de cableado entre los equipos terminales (ya sean de usuarios humanos o de máquinas) y los puntos de conexión terminal de la red (ya sea un “Access Point” de Wi-Fi o una micro o pico celda 4G o 5G).

Tecnología Wi-Fi

La tecnología de Wi-Fi (estándares IEEE 802.11² en sus distintas variantes) utilizan bandas de espectro libre³ que, de conformidad con la normatividad vigente, no requiere de concesión ni autorización del Instituto para poder ser utilizado. En ese sentido, en el presente documento no se abundará sobre esta tecnología habilitante, ya que solo se abordarán los casos en que se requiera de una concesión sobre el espectro radioeléctrico, en términos de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión.

Tecnología móvil 4G

Las tecnologías de cuarta generación, comúnmente conocidas como 4G, entre las que destaca la tecnología LTE (del inglés *Long Term Evolution*) fueron las que hicieron realidad el Internet móvil de banda ancha, dado que estas tecnologías ofrecen velocidades de descarga significativamente mayores que tecnologías como 3G y anteriores, permitiendo aplicaciones como la transmisión de video, descargas rápidas de archivos y una experiencia de navegación web mucho más ágil.

¹ La latencia se refiere al tiempo de respuesta de la red ante la solicitud de información o de ejecución de un comando por parte de un usuario final.

² Información detallada sobre estos estándares puede hallarse en: <https://ieeexplore.ieee.org/browse/standards/get-program/page/series?id=68>

³ Un listado de las bandas de espectro libre en México y sus características de operación se encuentra en: <https://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/inventariodebandasdefrecuenciasclasificadascomo espectro libre-marzo2023.pdf>

Esto, gracias a que, entre otras mejoras, en las tecnologías 4G se implementó el uso de portadoras de espectro de hasta 20 MHz y la posibilidad de agregar portadoras adicionales (*carrier aggregation*) para contar con más ancho de banda espectral y así incrementar dramáticamente las tasas de transmisión. Ello, aunado a otros avances como el uso de la modulación OFDMA⁴, sistemas de antenas MIMO⁵, una menor latencia y el uso del protocolo IP, establecieron un nuevo paradigma en la conectividad inalámbrica.

Gracias a ello, se habilitaron casos de uso innovadores como las videollamadas, *streaming* de audio y video de alta calidad, juegos en línea, posicionamiento geográfico en tiempo real y control remoto de dispositivos, entre otros.

Estas prestaciones de la tecnología han llamado la atención de diversos sectores e industrias que consideraron la implementación de aplicaciones y casos de uso basados en 4G para aumentar su eficiencia, seguridad y rentabilidad. Entre los sectores que han aprovechado las prestaciones de las tecnologías 4G pueden destacarse los siguientes:

- Salud: Monitoreo remoto de pacientes, telemedicina y acceso a historiales médicos en línea.
- Manufactura: Las tecnologías 4G facilitan el control y supervisión remota de procesos, la automatización de diversas etapas de procesos industriales y la optimización de la producción al mejorar la eficiencia de los procesos.
- Transporte: Sistemas de gestión de flotas, seguimiento de vehículos en tiempo real, aplicaciones de navegación mejoradas.
- Comercio: Gestión de inventarios en tiempo real, ventas en línea, logística, refinamiento de estrategias de mercadotecnia y publicidad.

Tecnología móvil 5G

El 5G es la última generación de conectividad móvil disponible después de la 4G. Las tecnologías 5G se centran en tres características principalmente:

- a) Banda ancha Mejorada: 5G ofrece tasas de transferencia mucho mayores que 4G, llegando a ser hasta 100 veces más rápida.

⁴ OFDMA: Del inglés "*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*" es una técnica de acceso múltiple que divide el ancho de banda disponible en múltiples subportadoras ortogonales para permitir que varios usuarios compartan el mismo canal de comunicación simultáneamente.

⁵ MIMO: Del inglés "*Multiple Input - Multiple Output*", múltiples entradas y múltiples salidas.

- b) Comunicaciones confiables de ultra baja latencia: 5G reduce aún más la latencia, alcanzando valores de 1 milisegundo, lo que es indispensable para aplicaciones y casos de uso que requieren respuestas en tiempo real, como la conducción autónoma, la cirugía remota y el control de robots industriales.
- c) Comunicaciones masivas tipo máquina: 5G puede soportar una densidad mucho mayor de dispositivos conectados simultáneamente, lo que es esencial para el desarrollo masivo del Internet de las Cosas (IoT) y las ciudades inteligentes, aunado a una mayor eficiencia energética que permite contar con dispositivos IoT de baterías con un horizonte de hasta 10 años de vida.

La tecnología 5G prevé el uso de portadoras de hasta 100 MHz para frecuencias por debajo de 6 GHz y de hasta 400 MHz para bandas milimétricas (por lo general por arriba de 24 GHz) en TDD, lo que implica un gran ancho de banda disponible para habilitar casos de uso y aplicaciones innovadoras presentes y futuras.

En cuanto al despliegue de redes 5G, existen dos categorías generales: las redes “*Non Stand Alone*” (NSA) y las redes “*Stand Alone*” (SA). Las redes 5G NSA son aquellas en las cuales la red de acceso de radio usa la nueva tecnología 5G (o NR), pero el núcleo o *core* de la red corresponde a tecnología 4G⁶. Esto permite una introducción rápida de algunas de las características de 5G (por ejemplo, tasas de transferencia más altas que 4G), pero debido a que el control y la gestión de la red dependen de un núcleo 4G, no es posible implementar las prestaciones más avanzadas de 5G (como *Network Slicing*).

Por otra parte, la red 5G SA es aquella en la que su arquitectura y componentes, incluido el núcleo de la red, son de nueva generación. Esto habilita las características más avanzadas de 5G, como el “*Network Slicing*” o segmentación virtual de la red, que permite la creación de redes virtuales diseñadas para casos de uso específicos que permiten controlar de forma flexible aspectos como la latencia, la velocidad, la priorización de paquetes y de usuarios, definiendo para cada segmento de red características y niveles de servicio diferenciadas. Asimismo, en la red 5G SA se proporciona un soporte mejorado para la gestión masiva de dispositivos y aplicaciones del Internet de las cosas (IoT).

Por ello, se considera que las redes 5G SA son las que podrán habilitar de forma más eficaz los casos de uso y aplicaciones más exigentes e innovadores que harán la verdadera diferencia en las industrias que aprovechen esta tecnología.

⁶ En general, una red de telecomunicaciones móviles consta de tres secciones: red de acceso (comunicación bidireccional entre las radio bases y el equipo terminal de usuario), una red de transporte (para comunicar a las radio bases con el núcleo de la red) y un núcleo o *core* de la red donde se realizan funciones de gestión central de la red de telecomunicaciones.

El cambio del núcleo de la red a 5G (5G SA) en general se realiza una vez que un porcentaje considerable de los usuarios de la red han migrado a 5G. En función del país de que se trate, este periodo podría oscilar entre dos y cuatro años a partir de la introducción de servicios 5G NSA.

1.3 Importancia de las redes privadas para el país

Las primeras tecnologías móviles (1G y 2G) se crearon únicamente para establecer una comunicación a distancia entre dos o más personas. Sin embargo, las más recientes tecnologías móviles permiten una comunicación eficiente entre personas y objetos y entre objetos entre sí, sin la intervención de seres humanos.

La automatización de procesos agroindustriales puede aprovechar las bondades de las tecnologías móviles disponibles y desarrolladas comercialmente, en especial de las redes 4G y 5G, a través de redes privadas de telecomunicaciones. Dentro de los servicios que las redes privadas inalámbricas pueden ofrecer, se encuentran el monitoreo de una planta industrial (seguridad) y de los procesos productivos; la interconexión de cientos, miles o hasta cientos de miles de sensores de todo tipo conectados a la red; el control interno y remoto de los procesos; la interacción de robots y máquinas que se desplacen de forma autónoma dentro de la planta de producción; la detección y eliminación de productos defectuosos en tiempo real dentro de las líneas de producción, y la posibilidad de acceder a lugares peligrosos para las y los trabajadores a través de vehículos controlados en forma remota, entre muchos otros.

La pandemia provocada por el SARS-COV2 entre 2019 y 2022 causó, en el sector productivo mundial, que muchos insumos intermedios y finales no pudieran entregarse en tiempo y forma, con interrupciones importantes en las cadenas productivas. Ejemplos comunes de ello son los retrasos y reducciones en la entrega de productos necesarios para las industrias automotriz y de electrónica de consumo.

Como respuesta, muchas empresas han buscado mover parte de su producción a regiones más cercanas a los destinos finales de sus productos. Esta tendencia, conocida como “*nearshoring*”, busca acortar los costos y las distancias en cadenas de producción y garantizar el suministro oportuno de los productos hacia los mercados finales.

La relocalización de empresas a regiones más cercanas a los Estados Unidos de América representa particularmente una enorme oportunidad para México. En ese sentido,

resulta imperioso que nuestro país cuente con la infraestructura, los servicios y las condiciones adecuadas para atraer las inversiones derivadas de este proceso.

El despliegue de redes privadas con tecnología móvil no solo puede apoyar al proceso de *nearshoring*, sino al aumento en la productividad y competitividad de las empresas manufactureras que se enfrentarán a mercados cada vez más competidos y tecnológicamente sofisticados. Por ejemplo, procesos industriales que requieran de aplicaciones tecnológicas de muy baja latencia, como robots autónomos, se pueden beneficiar del uso de redes 5G SA.

1.4 Interés de la industria en general por las redes privadas

En años recientes, ha sido creciente el interés de diversos sectores económicos por acceder a tecnologías modernas de banda ancha, lo que ha derivado en la implementación de políticas y emisión de regulación para atender dicha demanda, particularmente relacionadas con el acceso al espectro radioeléctrico. Ante ello, a nivel internacional abundan los casos de asignación de espectro para la implementación de redes privadas de banda ancha.

El Reporte sobre mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico para redes privadas 5G, elaborado por el Centro de Estudios del Instituto en 2024, nos brinda un panorama más completo y puntual sobre cómo la industria a nivel internacional hace uso de tecnologías 4G y 5G para redes privadas.

2. Opciones para atender requerimientos de espectro radioeléctrico para redes privadas

2.1 Lineamientos para autorizaciones de espectro de uso secundario

Una opción regulatoria diseñada por el Instituto para las personas interesados en hacer uso el espectro radioeléctrico para la satisfacción de necesidades privadas de comunicación son los *Lineamientos para el otorgamiento de la Constancia de Autorización, para el uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso secundario* (Lineamientos de uso secundario).

Este marco regulatorio se desarrolló alrededor de la figura del uso secundario previsto en la Ley, la cual permite un uso más eficiente del espectro radioeléctrico, al proteger ampliamente las concesiones y autorizaciones otorgadas a uso primario, pero

permitiendo un uso flexible del espectro por otros interesados que no presten servicios públicos de radiodifusión o telecomunicaciones.

Desde su expedición en abril de 2018, esta figura se ha convertido en una opción asequible y expedita para acceder al espectro radioeléctrico para redes privadas. A lo largo de estos años de vigencia los Lineamientos de uso secundario se han modificado en dos ocasiones, la última de ellas en septiembre de 2024, buscando atender las inquietudes planteadas por la industria respecto a su implementación para redes privadas en las actividades del Comité Técnico en Materia de Despliegue de 5G en México.

No obstante, esta alternativa presenta algunas desventajas respecto a las concesiones para uso privado, como se describe a continuación:

- Tienen una temporalidad menor, ya que las concesiones para uso privado se pueden otorgar hasta por 15 años, mientras que las autorizaciones de uso secundario para instalaciones destinadas a actividades comerciales o industriales se otorgan por hasta por 7 años, de acuerdo con el artículo 7, fracción II de los Lineamientos de Uso Secundario.
- Los servicios asociados a ellas no tienen protección contra interferencias causadas por concesionarios o autorizados que operen servicios a uso primario, y no deben causar interferencias a las mismas, esto es, aplica de manera análoga lo señalado en el artículo 57 de la Ley, que establece que la atribución de las bandas de frecuencia del espectro radioeléctrico a uno o más servicios de radiocomunicaciones a título primario contarán con protección contra interferencias perjudiciales, y las atribuidas a título secundario no deben causar interferencias perjudiciales a los servicios que se prestan mediante bandas de frecuencia otorgadas a título primario, ni podrán reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estas últimas.

En este contexto, son precisamente estas desventajas las que hacen que los operadores demanden otras alternativas que satisfagan sus necesidades de comunicación privada y las inversiones relacionadas con éstas, de una forma segura y de largo plazo, lo que nos obliga como reguladores a identificar nuevos esquemas que permitan el acceso al espectro en la forma y términos que requiere el sector.

2.2 Redes privadas habilitadas por concesionarios móviles establecidos

Los concesionarios de servicios móviles⁷ en México cuentan con distintas bandas de frecuencias que el día de hoy también utilizan para proveer soluciones de redes privadas. En función del tipo de solución que se requiera, los concesionarios establecidos pueden hacer uso de la infraestructura que ya tienen instalada en el país, o bien instalar infraestructura específica (v.gr. una red 5G SA) dentro de las instalaciones del usuario final para satisfacer las necesidades específicas del proyecto de que se trate.

En el Registro Público de Concesiones⁸ (RPC) del Instituto se encuentra la información de todas las concesiones de espectro radioeléctrico otorgadas para la prestación servicios de acceso inalámbrico móvil en el país y que, potencialmente, se utilizan o podrían utilizarse para la prestación de servicios móviles para redes privadas.

2.3 Concesiones para uso privado

La Ley prevé las concesiones para uso privado⁹ como aquellas que confieren el derecho para usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado con propósitos de comunicación privada. Esto es, con este tipo de concesiones únicamente es posible satisfacer necesidades privadas de comunicación de los particulares, sin el derecho de usar las bandas de frecuencias con fines de explotación comercial. Asimismo, la Ley establece que las concesiones para uso privado se otorgarán únicamente a través de un proceso de licitación pública.

El hecho que la Ley prevea que las concesiones de uso privado con propósitos de comunicación privada se otorguen a través de licitación pública impone retos importantes en la conformación de estos procesos, ya que, para la instalación y operación de una red privada para una empresa o industria, solo dicha empresa tendría una necesidad justificada para obtener una concesión para uso privado para esa cobertura específica.

En ese sentido, el Instituto trabaja en un mecanismo de licitación particular para el concesionamiento de uso privado. Se prevé que el mecanismo particular pueda darse a conocer y someterse a un proceso de consulta pública en el transcurso de 2025.

Este tipo de concesiones pudieran resultar atractivas a grandes empresas manufactureras, empresas mineras, armadoras automotrices y a cualquier otra empresa

⁷ Dentro de la categoría de "servicios móviles" se agrupan los servicios de acceso inalámbrico móvil como la telefonía móvil o celular y la banda ancha móvil

⁸ El RPC puede consultarse en: <https://rpc.ift.org.mx/vrpc/>

⁹ Ver artículo 76 fracción II, inciso a) de la Ley.

establecida en una locación fija por un periodo amplio (al menos diez años) que desee gestionar directamente una porción de espectro para fines privados de comunicación.

2.4 Concesiones de uso comercial para satisfacer necesidades de redes privadas (concepto y ejemplos de casos en que podría solicitarse)

Una alternativa adicional, que ayudaría a satisfacer las necesidades de comunicación privada de distintos sectores industriales y parques industriales, es el otorgamiento de concesiones de uso comercial enfocadas a satisfacer las necesidades de redes privadas.

Bajo este esquema, se prevé licitar porciones específicas de espectro radioeléctrico para la prestación de servicios de radiocomunicación especializada para redes privadas. Los eventuales concesionarios podrían ofrecer servicios “llave en mano” a empresas de manufactura, parques industriales, empresas mineras y para el desarrollo de aplicaciones de entretenimiento, entre muchos otros.

En este sentido, se busca incentivar el desarrollo de un mercado de servicios de redes privadas personalizadas de acuerdo con las necesidades y ubicaciones específicas de su cliente. Los tres principales impulsores para que las empresas cuenten con servicios de redes privadas son: apoyar una digitalización empresarial más amplia, consolidar diversas tecnologías de redes y permitir la automatización de procesos.

Por lo anterior, los mecanismos de asignación mediante licitación buscan poner a disposición del mercado una mayor cantidad de espectro para los servicios de radiocomunicación especializada para redes privadas y, en consecuencia, una mayor oferta de los servicios asociados, que permitirán a diversos sectores, principalmente de carácter industrial, contar con servicios específicos con tecnologías de última generación en áreas geográficas definidas en el territorio nacional, gozando de seguridad, privacidad, confiabilidad y menor latencia.

2.5 Casos de uso

A continuación, se presentan algunos ejemplos de casos de uso:

- a) **Industria minera:** para el despliegue de redes privadas que permitan la operación a distancia de maquinaria, sensores para medir la calidad del aire que permitan asegurar la seguridad de los trabajadores en mina, etc.

El Instituto ha otorgado diversas Autorizaciones para el uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso secundario (Autorización de Uso Secundario) para instalaciones destinadas a actividades de la industria minera y satisfacer necesidades específicas de comunicación de tipo industrial, en el cual se ha requerido emplear soluciones tecnológicas particulares que consideran la implementación y operación de sistemas de radiocomunicación que operan en bandas de frecuencias específicas de espectro y que les han permitido mejorar sus procesos productivos, con el fin de resolver problemas de comunicación interna, mediante la automatización y monitoreo en tiempo real que les garantiza el correcto funcionamiento de dichos procesos, incluso para salvaguardar la integridad física de los trabajadores.

➤ Bandas de frecuencias autorizadas para la industria minera:

- 148-174 MHz,
- 700 MHz y
- 2.3 GHz.

➤ Escenarios de despliegue de redes privadas:

- Interiores y exteriores

b) Industria turística: turismo digital mediante el uso de gafas de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) que ofrecen a los visitantes experiencias nuevas e inmersivas, contribuyendo al acervo cultural, a la educación y al desarrollo de nuevas aplicaciones para la exploración de esta zona arqueológica.

Operación de una red móvil privada en la zona arqueológica de Chichén Itzá, ubicada en el Estado de Yucatán basada en tecnología 5G, la cual opera al amparo de la Autorización de uso secundario dentro del rango 3450-3550 MHz, con anchos de banda de 20 MHz, para instalaciones destinadas a actividades industriales que, para este caso, corresponden a actividades de la industria turística, otorgada por el Instituto a favor de la empresa Smartlite, S.A. de C.V., con una vigencia de 5 años.

No se omite señalar que, la autorización referida otorga el derecho para usar y aprovechar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico para uso secundario, es decir que las operaciones de esta red móvil privada no deben causar interferencias perjudiciales a otros servicios de radiocomunicación que funcionen bajo una atribución a título primario identificada en el Cuadro Nacional

de Atribución de Frecuencias (CNAF), ni podrán reclamar protección contra los mismos. Por lo que, en caso de existir problemas de interferencias perjudiciales, el autorizado deberá suspender la operación de los equipos interferentes de manera inmediata, pudiendo afectar con ello la calidad de la experiencia del turismo digital.

- Bandas de frecuencias utilizadas:
 - 3.5 GHz
 - Escenarios de despliegue de redes privadas:
 - Exteriores
- c) **Industria 4.0 (manufacturera).** modernizar las diferentes cadenas de producción de diversos sectores industriales, mediante el monitoreo remoto y en tiempo real de bienes, maquinaria, equipo de operaciones, personal, etc., con el objeto de lograr mayores eficiencias en la productividad y decrementar incidencias. Lo anterior se encuentra estrechamente relacionado con la denominada Industria 4.0 y el despliegue de sistemas de Internet de las Cosas (IoT).

En 2023, se otorgó un título de concesión para usar y aprovechar el segmento de frecuencias 3450-3500 MHz para uso privado, con propósitos de experimentación, a favor de la empresa IP Matrix, S.A. de C.V., con vigencia de 1 año y con el objeto de realizar pruebas experimentales para comprobar y evaluar el funcionamiento de un sistema 5G en un laboratorio ubicado al interior de las instalaciones de dicha empresa.

La implementación de este laboratorio tiene como objeto ejecutar simulaciones de aplicaciones IoT y 5G de la industria manufacturera, y evaluar diversos casos de uso de la Industria 4.0 tales como el control de calidad en plantas automotrices, la administración de inventarios y la inspección por drones y manejo de activos, a través de la supervisión del funcionamiento e interoperabilidad de robots para plantas de ensamblado, maquiladoras, cámaras de reconocimiento facial y otros dispositivos de radiocomunicación y monitoreo, los cuales requieren de latencias muy bajas (en el orden de 2 a 5 ms) y transmisiones de banda ancha (hasta 50 MHz) para alcanzar el óptimo funcionamiento de las actividades industriales. Asimismo, otro objetivo expresado por IP Matrix, S.A. de C.V. fue el desarrollar soluciones para la implementación de redes privadas 5G y de dispositivos IoT para satisfacer las necesidades de las industrias 4.0 en un futuro cercano.

- Bandas de frecuencias utilizadas:
 - 3.5 GHz
- Escenarios de despliegue de redes privadas:
 - Interiores (posibles operaciones al exterior dentro de un campus industrial)

3. Consideraciones generales para concesiones relacionadas con redes privadas

Se prevé que la asignación de concesiones de espectro radioeléctrico para redes privadas requerirá de esquemas más flexibles y sencillos, que permitan disponer de espectro radioeléctrico oportuno, considerando que se espera un rápido desarrollo de sistemas y aplicaciones, así como de cambios tecnológicos cada vez más dinámicos.

Adicionalmente, el otorgamiento de concesiones de espectro radioeléctrico para redes privadas permitiría la coexistencia entre diferentes sistemas que operan en las mismas bandas de frecuencias mediante una separación espacial en zonas geográficamente delimitadas, como pueden ser complejos industriales, considerando las distintas atribuciones de espectro radioeléctrico que se comparten entre distintos servicios de radiocomunicaciones.

Lo anterior, lleva a revisar los actuales esquemas de asignación de espectro por licitación pública en la búsqueda de esquemas con mayor flexibilidad, y que permitan que el otorgamiento y uso de las bandas de frecuencias se realicen en el menor tiempo posible, cumpliendo con las disposiciones legales vigentes.

3.1 Determinación de zonas geográficas para asignación de espectro radioeléctrico

La determinación de zonas geográficas para concesiones de uso comercial para satisfacer las necesidades de redes privadas se llevó a cabo a partir de criterios estadísticos, demográficos y económicos. El objetivo fue localizar geográficamente los complejos industriales a nivel nacional, ya que uno de los principales casos de uso de las redes privadas 5G es la industria 4.0.

Un complejo industrial¹⁰ se refiere a un asentamiento industrial cuya característica es el encontrarse en un espacio físico delimitado por el uso de tipo de suelo y cuenta con una infraestructura física y mecánica para operar adecuadamente.

En función de sus características, los complejos industriales se catalogan de la siguiente manera:

- **Corredor industrial.** Es un sistema de parques o ciudades industriales que se localizan a lo largo de una vía de comunicación (carretera o vía de ferrocarril) que facilita el desarrollo de la comercialización, industrialización y prestación de servicios, que presenta un origen y un destino de productos y se establece generalmente entre dos o más municipios, lo que obliga a un reconocimiento por parte del gobierno estatal o federal.
- **Ciudad industrial.** Espacio geográfico creado con infraestructura de servicios (energía eléctrica, agua, drenaje, vías de comunicación, etc.), donde se pueden establecer empresas manufactureras. También se consideran áreas para construir conjuntos habitacionales, comerciales y de servicios (bancos, por ejemplo).
- **Parque industrial.** Es aquella extensión de terreno destinada al asentamiento de industrias cuyo espacio físico, áreas e infraestructura están definidos previamente, pero que cuentan con servicios comunes y reglamento interno a todas las industrias radicadas, con un ente administrador organizador y con funciones de control. Este ente puede ser de carácter gubernamental, municipal, mixto o privado.
- **Zona industrial.** Son superficies de terreno que han sido designadas y delimitadas oficialmente para uso industrial; por naturaleza es esencialmente reglamentaria con respecto al uso de la tierra, tipo de industria, densidad y otros requerimientos. Pueden estar ocupadas total o parcialmente por industrias existentes, tierra disponible, mejorada o no, y también, pueden tener viviendas y/o comercios, como: usos de suelo presente o permitido, primeros auxilios, servicios bancarios, correos, comunicaciones, etcétera.

Adicionalmente a los complejos industriales, los aeropuertos son zonas atractivas para el despliegue de redes privadas. En el siguiente enlace se pueden visualizar las zonas

¹⁰ Complejos industriales: Censos Económicos 2019 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. -- México: INEGI, c2021.

identificadas para redes privadas por parte del Instituto: <https://felt.com/map/Zonas-para-redes-privadas-J9B67xJcGTmW2jpTE9ALrPbD?loc=24.664,-101.966,5.49z&share=1>

En el Anexo 1 se describe a detalle la metodología implementada para la determinación de las zonas geográficas para la asignación de espectro para este tipo de concesiones.

4. Licitaciones de Espectro Radioeléctrico

4.1. Objetivo

Desarrollar esquemas de licitación que pongan a disposición el espectro radioeléctrico para atender las necesidades del mercado en redes privadas, ya sea mediante el otorgamiento de concesiones de uso privado o comercial, mediante un marco reglamentario más ágil y flexible.

Actualmente, el artículo 28, párrafo décimo octavo de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos prevé que las concesiones del espectro radioeléctrico serán otorgadas mediante licitación pública, a fin de asegurar la máxima concurrencia, previniendo fenómenos de concentración que contraríen el interés público y asegurando el menor precio de los servicios al usuario final; en ningún caso el factor determinante para definir al ganador de la licitación será meramente económico.

En este sentido, el Instituto tiene la facultad de emitir todos aquellos pronunciamientos y explorar alternativas para desarrollar los procedimientos de licitación pública, acordes a los mandatos constitucionales y legales tendentes al cumplimiento del objetivo.

4.2. Esquema general de la licitación para uso privado

En el caso de concesiones de uso privado, con la finalidad de contar con un mecanismo de asignación ágil y dinámico, que atienda las necesidades del mercado, se plantea analizar la viabilidad de contar con nuevos esquemas de licitación que reduzcan los tiempos administrativos, los trámites y costos asociados, y las barreras a la entrada, utilizando las tecnologías de información y comunicación.

Entre las propuestas a analizar se encuentra el establecer una convocatoria permanente en la cual se realice una previa y única acreditación de la personalidad y cumplimiento de los requisitos para obtener los títulos de concesión correspondientes, lo que permitiría participar en una o más licitaciones de espectro con un solo trámite administrativo y reduciría los tiempos de asignación.

4.3. Esquema general de la licitación de servicios de radiocomunicación especializada para redes privadas (para uso comercial)

En el caso de asignación de bandas de frecuencias destinadas a redes privadas para uso comercial, se prevé desarrollar licitaciones siguiendo el esquema tradicional de licitación pública que se ha utilizado para la asignación de espectro radioeléctrico. Sin embargo, se prevé actualizar los procesos y los tiempos de respuesta, priorizando el uso de sistemas electrónicos de gestión que faciliten la participación, así como incorporar mecanismos de análisis, opinión y dictámenes en materia de competencia económica simplificados. Todo ello, en lo posible y sujeto al cumplimiento del marco legal.

Asimismo, se prevé evaluar la conveniencia de incorporar en las bases de licitación y en los títulos de concesión medidas para evitar la especulación y el uso ocioso del espectro, mediante reglas que obliguen a iniciar su explotación en un tiempo determinado (como puede ser 1 o 2 años) y, en caso de no hacerlo, perder la concesión.

5. Bandas de frecuencias que podrían considerarse para la implementación de redes privadas

Tomando en cuenta los casos de uso y escenarios de despliegue que ya han sido implementados en el país, se identificaron algunas de las bandas de frecuencias que pueden ser inicialmente candidatas para su concesionamiento e implementación de redes privadas. Al respecto, se realizó un análisis sobre el marco normativo a nivel internacional y nacional, así como la situación actual de estas bandas de frecuencias.

5.1. Bandas de frecuencias

Para cada banda de frecuencias se especifica la modalidad de uso como “Privado” o “Comercial”, dependiendo si el diseño, implementación, gestión, operación y mantenimiento de la red privada sería a través de medios propios (Privado) o a través de un tercero (Comercial).

5.1.1. Banda 2.3 GHz

Modalidad de uso: Privado

Análisis de la banda de frecuencias 2.3 GHz

Atribución de la banda de frecuencias 2.3 GHz

Reglamento de Radiocomunicaciones (RR)

El RR¹¹ en su artículo 5, sección IV denominada *Cuadro de atribución de bandas de frecuencias*, establece para la Región 2, a la que México pertenece, las atribuciones siguientes para la banda de frecuencias 2.3 GHz:

Atribución Internacional en el RR de la UIT (Región 2)
2 300 - 2 450 MHz FIJO MÓVIL 5.384A RADIOLOCALIZACIÓN Aficionados 5.150 5.282 5.393 5.394

Con relación a las notas internacionales relevantes contenidas en el RR de la UIT y correspondientes a la banda de frecuencias 2.3 GHz, destacan las siguientes:

5.384A *Las bandas de frecuencias 1710-1885 MHz, 2300-2400 MHz y 2500-2690 MHz, o partes de esas bandas de frecuencias, se han identificado para su utilización por las administraciones que deseen introducir las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) de conformidad con la Resolución 223 (Rev.CMR-15). Esta identificación no impide su utilización por cualquier aplicación de los servicios a los que están atribuidas, ni establece prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones. (CMR-15)*

CNAF

Por lo que se refiere al ámbito nacional, el CNAF¹² vigente, publicado en el DOF el 30 de diciembre de 2021, señala la atribución siguiente para la banda de frecuencias 2.3 GHz:

CNAF (MHz)

¹¹ Reglamento de Radiocomunicaciones, disponible para consulta en: <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR-2020/es>

¹² Acuerdo DOF 30-12-2021, disponible para consulta en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639765&fecha=30/12/2021

2300-2400

MÓVIL

Aficionados

Radiolocalización

MX189 MX202 MX203 MX203B

A su vez, respecto a las notas nacionales contenidas en el CNAF y correspondientes a la banda de frecuencias 2.3 GHz, destacan las siguientes:

MX189 Las bandas de frecuencias 1710 - 2025 MHz, 2110 - 2200 MHz, 2300 - 2400 MHz y 2500 - 2690 MHz están identificadas para sistemas IMT, de conformidad con las Resoluciones 212 (Rev. CMR-15), 223 (Rev. CMR-15) y los números 5.384A y 5.388 del RR. Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida, ni establece prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

MX202 La banda de frecuencias 2300 - 2400 MHz está identificada para sistemas IMT, de conformidad con la Resolución 223 (Rev. CMR-15) y el número 5.384A del RR. Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida, ni establece prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

MX203 Actualmente el IFT analiza la viabilidad de utilizar la banda de frecuencias 2300 - 2400 MHz para la prestación de servicios IMT en México.

MX203B El 26 de noviembre de 2018 se publicó en el DOF el Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones expide la Disposición Técnica IFT-014-2018. Equipos de microondas para sistemas fijo multicanal punto a punto y punto a multipunto, Parte 1: Radioacceso múltiple.

Situación actual de la banda de frecuencias 2.3 GHz

Actualmente, en nuestro país la banda de frecuencias 2.3 GHz está identificada como una banda propicia para el despliegue de sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (o IMT, por sus siglas en inglés) para múltiples administraciones a nivel mundial, de conformidad con las Resoluciones 212 (Rev. CMR-19) y 223 (Rev. CMR-19) y los números 5.384A y 5.388 del RR de la UIT. Es importante mencionar que dicha identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida, ni establece preferencia alguna en el RR.

Como consecuencia de la identificación de dichas bandas de frecuencias como propicias para las IMT, el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) plantea en su Recomendación ITU-R M.1036-7 "Disposiciones de frecuencias para la implementación

de la componente terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales en las bandas identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones para las IMT¹³, un esquema de segmentación para la banda que va de 2 300 MHz a 2 400 MHz, denominado E1, en modo de duplexaje por división de tiempo (TDD, por sus siglas en inglés de: *Time Division Duplex*).

Por otra parte, el Comité Consultivo Permanente II: Radiocomunicaciones (CCP.II) de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL), acordó aprobar una recomendación para los países que conforman la Región 2 titulada: Recomendación CCP.II/REC. 67 (XLIII-24) “Disposiciones de frecuencias para la componente terrenal de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)”¹⁴ en las que se considera la banda 2.3 GHz para la provisión de servicios de banda ancha a través de aplicaciones IMT y se recomienda a las administraciones considerar la selección del arreglo E1 para la banda 2.3 GHz a fin de maximizar la armonización global de sistemas IMT.

Adicionalmente, el organismo de estandarización 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*)¹⁵ desarrolló combinaciones para la implementación de sistemas IMT que incluyen la banda de frecuencias 2.3 GHz. Dichas combinaciones consideran la clasificación de la banda 40 para el segmento 2.3-2.4 GHz para aplicaciones LTE y LTE-Avanzadas, así como la banda n40 con la misma segmentación para el caso de la utilización de sistemas de 5G NR, como se muestra en la tabla siguiente:

Banda del 3GPP	Enlace ascendente	Enlace descendente	Duplexaje
40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD
n40	2300 MHz - 2400 MHz	2300 MHz - 2400 MHz	TDD

De conformidad con la información recabada del Sistema Integral de Administración del Espectro Radioeléctrico (SIAER)¹⁶, al día de hoy se cuentan con 287 registros de radioenlaces del servicio fijo en todo el territorio nacional en la banda de 2300-2400 MHz, los cuales, al contar con una separación dúplex de 77 MHz entre frecuencias de transmisión y recepción, llegan a ocupar frecuencias en los segmentos 2290-2360 MHz y 2370-2440 MHz con anchos de banda por canal de 1.75 MHz, 2 MHz, 3.5 MHz y 4.5 MHz.

¹³ Disponible para su consulta en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-7-202312-1/es>

¹⁴ Disponible para su consulta en: <https://www.oas.org/citevents/en/Documents/DocumentsFile/2803>

¹⁵ Organismo de estandarización que se encarga de cubrir los aspectos de tecnologías de redes celulares en telecomunicaciones, incluyendo el acceso de radio, las redes de transporte, capacidad-calidad del servicio y especificaciones técnicas de sistemas.

¹⁶ Sistema Integral de Administración del Espectro Radioeléctrico, plataforma de gestión interna del Instituto.

Tales registros se encuentran asociados a particulares, organismos públicos descentralizados, empresas paraestatales, dependencias y entidades gubernamentales, empresas de transporte, por mencionar algunos, los cuales hacen uso del espectro radioeléctrico al amparo de permisos y autorizaciones otorgados previo a la entrada en vigor de la Ley Federal de Telecomunicaciones de 1995.

Adicionalmente, de conformidad con el RPC¹⁷ se cuenta con una concesión para el uso y aprovechamiento del espectro radioeléctrico de uso público otorgada al Sistema de Transporte Colectivo, Organismo Público Descentralizado de la Ciudad de México, para la provisión del servicio de acceso inalámbrico móvil dentro de la banda de frecuencias 2300-2400 MHz; una concesión para el uso y aprovechamiento del espectro radioeléctrico para uso privado, con propósitos de experimentación, en el segmento 2380-2400 MHz, otorgada a Rurtech, A.C., a fin de realizar pruebas experimentales de un sistema del servicio móvil en el Municipio de Canelas, Durango, así como una Constancia de Autorización de uso secundario del rango de frecuencias 2360-2400 MHz, otorgada a favor de Minera Peñasquito, S.A. de C.V., para instalaciones destinadas a actividades industriales ubicadas en el Municipio de Mazapil, Zacatecas.

Finalmente, el 24 de julio de 2000 se firmó en la Ciudad de México el Acuerdo¹⁸ entre los Estados Unidos de América y México relativo al uso de la banda 2310-2360 MHz para los servicios de radiodifusión sonora digital vía satélite (DARS, por sus siglas en inglés) entre ambos países. Dicho acuerdo tenía como finalidad establecer entre los dos países un arreglo de operación de bandas de frecuencias, la coordinación de los sistemas satelitales DARS y los sistemas terrenales, así como el establecer límites de DFP y niveles de protección para los receptores satelitales y los sistemas terrestres; sin embargo, se observa un alto nivel de obsolescencia de estos servicios y la nula existencia de títulos habilitantes para la prestación de servicios de radiodifusión sonora a través de la operación de los sistemas DARS en nuestro país. Lo anterior, encuentra sustento con las acciones de planificación espectral asociadas con el número 5.393 del RR, la cual no considera la atribución adicional a título primario al servicio de radiodifusión por satélite (sonora) en la banda 2310-2360 MHz para México, y que resulta consistente con las atribuciones actuales que tiene la banda de frecuencias 2300-2400 MHz en el CNAF.

5.1.2. Banda 3.4 – 3.6 GHz

¹⁷ Consultable en: <https://rpc.ift.org.mx/vrpc>

¹⁸ Acuerdo entre EE. UU. y México relativo al uso de la banda 2310-2360 MHz, disponible para consulta en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=763322&fecha=16/07/2001#gsc.tab=0

Identificado como IMT para Región 2 en CMR-15, Resolución 223 (Rev. CMR-23) y el número 5.431B del RR.

Modalidad de Uso: Comercial

Análisis de la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz

Atribución de la banda de frecuencias.

RR

El RR vigente en su artículo 5, sección IV denominado *Cuadro de atribución de bandas de frecuencias*, establece para la Región 2 las atribuciones siguientes:

Atribución Internacional en el RR de la UIT (Región 2)
3 400 - 3 500 MHz FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431A 5.431B Aficionados Radiolocalización 5.433 5.282
3 500 - 3 600 MHz FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.431B Radiolocalización 5.433

Con relación a las notas internacionales relevantes contenidas en el RR de la UIT y correspondientes al rango de frecuencias 3.4-3.6 GHz, destacan las siguientes:

5.431A *En la Región 2, la atribución de la banda de frecuencias 3 400-3 500 MHz al servicio móvil, salvo móvil aeronáutico, a título primario, está sujeta a la obtención del acuerdo en virtud del número 9.21. (CMR-97)*

5.431B *En la Región 2, la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz está identificada para ser utilizada por las administraciones que deseen implementar las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT). Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de otros servicios a los que está atribuida ni establece prioridad en el Reglamento de Radiocomunicaciones. En la etapa de coordinación, también son de aplicación las*

disposiciones de los números 9.17 y 9.18. Antes de que una administración ponga en servicio una estación base o móvil de un sistema IMT, deberá buscar el acuerdo en virtud del número 9.21 con otras administraciones y verificar que la densidad de flujo de potencia (dfp) producida a 3 m sobre el nivel del suelo no rebasa el valor de $-154,5 \text{ dB (W/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz))}$ durante más del 20% del tiempo en la frontera del territorio de cualquier otra administración. Este límite podrá rebasarse en el territorio de cualquier país cuya administración así lo haya acordado. A fin de garantizar que se satisface el límite de dfp en la frontera del territorio de cualquier otra administración, deberán realizarse los cálculos y verificaciones correspondientes, teniendo en cuenta toda la información pertinente, con el acuerdo mutuo de ambas administraciones (la administración responsable de la estación terrenal y la administración responsable de la estación terrestre), con la asistencia de la Oficina si así se solicita. En caso de desacuerdo, la Oficina efectuará el cálculo y la verificación de la dfp, teniendo en cuenta la información antes indicada. Las estaciones en el servicio móvil, incluidos los sistemas IMT, en la banda de frecuencias 3 400-3 600 MHz no reclamarán contra las estaciones espaciales más protección que la estipulada en el Cuadro 21-4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (Edición de 2004). (CMR-15)

CNAF

Por lo que se refiere al ámbito nacional, el CNAF señala la atribución siguiente:

Atribución Nacional en el CNAF	
3.4 - 3.5 GHz FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Móvil Aficionados	MX213 MX213A MX214
3.5 - 3.6 GHz FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Móvil salvo móvil aeronáutico Radiolocalización	MX213 MX213A MX214

A su vez, respecto a las notas nacionales contenidas en el CNAF y correspondientes a la banda 3.4-3.6 GHz, destacan las siguientes:

MX213 Los segmentos de frecuencias 3.450 - 3.600 GHz se encuentran actualmente concesionados para la prestación del servicio de acceso inalámbrico fijo.

MX213A La banda de frecuencias 3.4 - 3.6 GHz está identificada para sistemas IMT, de conformidad con la Resolución 223 (Rev. CMR-19) y el número 5.431B del RR. Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de otros servicios a los que está atribuida, ni establece prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones.

MX214 Las bandas de frecuencias 3.400 - 3.700 GHz (espacio-Tierra) y 6.425 - 6.725 GHz (Tierra-espacio) son empleadas por el Sistema Satelital del Gobierno Federal en la posición orbital geoestacionaria 114.9° Oeste, para la provisión del servicio fijo por satélite.

Situación actual de la banda de frecuencias.

Actualmente, en nuestro país la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz está identificada como una banda propicia para el despliegue de sistemas IMT para múltiples administraciones a nivel mundial, de conformidad con la Resolución 223 (Rev. CMR-23) y las notas internacionales 5.430A, 5.431B, 5.432A y 5.432B del RR de la UIT. Es importante mencionar que dicha identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida, ni establece preferencia alguna en el RR.

Como consecuencia de la identificación de dichas bandas de frecuencias como propicias para las IMT, el UIT-R plantea en su Recomendación M.1036-7 "*Disposiciones de frecuencias para la implementación de la componente terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales en las bandas identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones para las IMT*"¹⁹, un esquema de segmentación para la banda que va de 3.3 GHz a 3.7 GHz denominado F3 y, otro que va de 3.4 GHz a 3.6 GHz denominado F1. Ambos consideran la totalidad de sus respectivos segmentos en modo TDD. Aunado a lo anterior, este arreglo de frecuencias, actualmente se encuentra bajo revisión, con el objeto de considerar la identificación del rango 3.7-3.8 GHz por algunos países, en dicho arreglo de frecuencias.

Por otra parte, el CCP.II de la CITEL, acordó aprobar una recomendación para los países que conforman la Región 2 titulada: Recomendación CCP.II/REC. 67 (XLIII-24) "*Disposiciones de frecuencias para la componente terrenal de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)*"²⁰ en las que se considera dichas bandas de frecuencias para la provisión de servicios de banda ancha.

¹⁹ Disponible para su consulta en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-7-202312-I/es>

²⁰ Disponible para su consulta en: <https://www.oas.org/citevents/en/Documents/DocumentsFile/2803>

Adicionalmente, el organismo de estandarización 3GPP²¹ desarrolló diversas combinaciones para la implementación de sistemas IMT que incluyen la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz. Dichas combinaciones consideran la clasificación de la banda 42 para el segmento 3.4-3.6 GHz para aplicaciones LTE y LTE-Avanzadas. Así mismo, para el caso de la utilización de sistemas de 5G NR, se considera la clasificación de la banda n78 para el segmento 3.3-3.8 GHz y la banda n77 para el segmento 3.3-4.2 GHz como se muestra en la tabla siguiente:

Banda del 3GPP	Enlace ascendente	Enlace descendente	Duplexaje
42	3400 MHz - 3600 MHz	3400 MHz - 3600 MHz	TDD
n78	3300 MHz - 3800 MHz	3300 MHz - 3800 MHz	TDD
n77	3300 MHz - 4200 MHz	3300 MHz - 4200 MHz	TDD

Por otro lado, el SIAER, a la fecha, cuenta con 60 (sesenta) registros que comprenden radio bases y repetidores, pertenecientes a diferentes usuarios de los servicios fijo y móvil dentro de la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz, que podrían ser divididos en sistemas de enlaces punto a punto o punto a multipunto y sistemas de radiocomunicación de banda ancha.

Ahora bien, en lo que respecta a la ocupación de la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz, actualmente los segmentos de frecuencias 3.4-3.45 GHz y 3.55-3.60 GHz se encuentran concesionados a nivel nacional a favor de Radiomóvil Dipsa, S.A. de C.V. y de AT&T Comunicaciones Digitales, S. de R.L. de C.V., respectivamente, para la provisión del servicio de acceso inalámbrico móvil y fijo, respectivamente, con una configuración TDD para ambos segmentos.

Por otro lado, en agosto de 2014 el Instituto otorgó a Telecomunicaciones de México una asignación para ocupar la posición orbital geoestacionaria 114.9° Longitud Oeste, asignada al país, para la provisión de diferentes servicios y aplicaciones de telecomunicaciones a través del satélite "Bicentenario" con las bandas de frecuencias asociadas que se describen en la tabla siguiente:

Satélite	Posición Orbital	Segmentos (GHz)		Servicio
		espacio - Tierra	Tierra - espacio	

²¹ Organismo de estandarización que se encarga de cubrir los aspectos de tecnologías de redes celulares en telecomunicaciones, incluyendo el acceso de radio, las redes de transporte, capacidad-calidad del servicio y especificaciones técnicas de sistemas.

Bicentenario	114.9° O	11.450 – 11.700	13.750 – 14.000	Fijo por satélite
		3.400 – 3.700	6.425 – 6.725	

Así mismo, de acuerdo al RPC se cuenta con registro de una autorización y una concesión para explotar los derechos de emisión y recepción de señales y bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicios en el territorio nacional (aterrizaje de señales) con el segmento asociado 3550 – 3700 MHz, 3599 – 4200 MHz.

5.1.3. Banda 3.6 – 3.7 GHz

Identificada como IMT en CMR-23, número 5.434 del RR

Modalidad de Uso: Comercial

Análisis de la banda de frecuencias 3.6-3.7 GHz

Atribución de la banda de frecuencias.

RR

El RR²² en su Artículo 5, sección IV denominado *Cuadro de atribución de bandas de frecuencias*, establece para la Región 2 las atribuciones siguientes:

Atribución Internacional en el RR de la UIT (Región 2)
3 600 - 3 700 MHz FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) MÓVIL salvo móvil aeronáutico 5.434 Radiolocalización 5.433

Con relación a las notas internacionales contenidas en el RR de la UIT y correspondientes al rango de frecuencias 3.6-3.7 GHz, destacan las siguientes:

5.434 *En Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Estados Unidos y Paraguay, la banda de frecuencias 3 600-3 700 MHz, o partes de la misma, está identificada para ser utilizada por las administraciones que deseen implementar las*

²² Reglamento de Radiocomunicaciones, disponible para consulta en: <https://www.itu.int/pub/R-REG-RR-2020/es>

Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT). Esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida ni establece prioridad alguna en el Reglamento de Radiocomunicaciones. En la etapa de coordinación también son de aplicación los números 9.17 y 9.18. Antes de que una administración ponga en servicio una estación base o móvil de un sistema IMT, buscará el acuerdo en virtud del número 9.21 con otras administraciones y garantizará que la densidad de flujo de potencia (dfp) producida a 3 m por encima del suelo no rebasa el valor de $-154,5 \text{ dB(W)/(m}^2 \cdot 4 \text{ kHz)}$ durante más del 20% del tiempo en la frontera del territorio de cualquier otra administración. Este límite podrá rebasarse en el territorio de cualquier país cuya administración así lo haya acordado. A fin de garantizar que se satisface el límite de dfp en la frontera del territorio de cualquier otra administración, deberán realizarse los cálculos y verificaciones correspondientes, teniendo en cuenta toda la información pertinente, con el acuerdo mutuo de ambas administraciones (la administración responsable de la estación terrenal y la administración responsable de la estación terrena), y con la asistencia de la Oficina, si así se solicita. En caso de desacuerdo, la Oficina efectuará el cálculo y la verificación de la dfp, teniendo en cuenta la información antes indicada. Las estaciones del servicio móvil, incluidos los sistemas IMT, en la banda de frecuencias 3 600-3 700 MHz no reclamarán contra las estaciones espaciales más protección que la estipulada en el Cuadro 21-4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (Edición de 2004). (CMR-19)

CNAF

Por lo que se refiere al ámbito nacional, el CNAF²³ vigente señala la atribución siguiente:

Atribución Nacional en el CNAF	
3.6 - 3.7 GHz FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) Radiolocalización	MX214

A su vez, respecto a las notas nacionales contenidas en el CNAF y correspondientes a la banda 3.6-3.7 GHz, destaca la siguiente:

MX214 Las bandas de frecuencias 3.400 - 3.700 GHz (espacio-Tierra) y 6.425 - 6.725 GHz (Tierra-espacio) son empleadas por el Sistema Satelital del Gobierno Federal en la posición orbital geoestacionaria 114.9° Oeste, para la provisión del servicio fijo por satélite.

Situación actual de la banda de frecuencias.

²³ Acuerdo DOF 30-12-2021, disponible para consulta en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5639765&fecha=30/12/2021

Actualmente, en la región 2, las administraciones de Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Estados Unidos y Paraguay han identificado la banda de frecuencias 3.6-3.7 GHz como una banda propicia para el despliegue de sistemas IMT, de conformidad con la Resolución 223 (Rev. CMR-19) y la nota internacional 5.434 del RR de la UIT. Es importante mencionar que dicha identificación fue revisada y actualizada durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2023 y como resultado, dicha porción del espectro radioeléctrico se identificó para toda la Región 2 y entrará en vigor el 1 de enero de 2025, no obstante, esta identificación no impide la utilización de esta banda de frecuencias por cualquier aplicación de los servicios a los que está atribuida, ni establece preferencia alguna en el RR.

Como consecuencia de la identificación de dicha banda de frecuencias como propicia para las IMT, el UIT-R plantea en su Recomendación M.1036-7 *"Disposiciones de frecuencias para la implementación de la componente terrenal de las telecomunicaciones móviles internacionales en las bandas identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones para las IMT"*²⁴, un esquema de segmentación para la banda que va de 3.3 GHz a 3.7 GHz denominado F3. Considerando la totalidad del segmento en modo de duplexaje por división en tiempo (TDD, por sus siglas en inglés: *Time Division Duplex*). Aunado a lo anterior, este arreglo de frecuencias, actualmente se encuentra bajo revisión, con el objeto de considerar la identificación del rango 3.7-3.8 GHz por algunos países, en dicho arreglo de frecuencias.

Por otra parte, el CCP.II de la CITEL, acordó aprobar una recomendación para los países que conforman la Región 2 titulada: Recomendación CCP.II/REC. 67 (XLIII-24) *"Disposiciones de frecuencias para la componente terrenal de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT)"*²⁵ en las que se considera dichas bandas de frecuencias para la provisión de servicios de banda ancha.

Adicionalmente, el organismo de estandarización 3GPP²⁶ desarrolló diversas combinaciones para la implementación de sistemas IMT que incluyen la banda de frecuencias 3.6-3.7 GHz. Dichas combinaciones consideran la clasificación de la banda 43 para el segmento 3.6-3.8 GHz para aplicaciones LTE y LTE-Avanzadas. Así mismo, para el caso de la utilización de sistemas de 5G NR, se considera la clasificación de la banda

²⁴ Disponible para su consulta en: <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-7-202312-I/es>

²⁵ Disponible para su consulta en: <https://www.oas.org/citevents/es/Documents/DocumentsFile/2394>

²⁶ Organismo de estandarización que se encarga de cubrir los aspectos de tecnologías de redes celulares en telecomunicaciones, incluyendo el acceso de radio, las redes de transporte, capacidad-calidad del servicio y especificaciones técnicas de sistemas.

n78 para el segmento 3.3-3.8 GHz y la banda n77 para el segmento 3.3-4.2 GHz como se muestra en la tabla siguiente:

Banda del 3GPP	Enlace ascendente	Enlace descendente	Duplexaje
43	3600 MHz - 3800 MHz	3600 MHz - 3800 MHz	TDD
n78	3300 MHz - 3800 MHz	3300 MHz - 3800 MHz	TDD
n77	3300 MHz - 4200 MHz	3300 MHz - 4200 MHz	TDD

Por otro lado, el SIAER, a la fecha, cuenta con alrededor de 46 (cuarenta y seis) registros que comprenden radio bases pertenecientes a diferentes usuarios del servicio fijo dentro de la banda de frecuencias 3.6-3.7 GHz, que podrían ser divididos en sistemas de enlaces punto a punto y punto a multipunto.

Ahora bien, en agosto de 2014 el Instituto otorgó a Telecomunicaciones de México una asignación para ocupar la posición orbital geoestacionaria 114.9° Longitud Oeste, asignada al país, para la provisión de diferentes servicios y aplicaciones de telecomunicaciones a través del satélite "Bicentenario" con las bandas de frecuencias asociadas que se describen en la tabla siguiente:

Satélite	Posición Orbital	Segmentos (GHz)		Servicio
		espacio - Tierra	Tierra - espacio	
Bicentenario	114.9° O	11.450 - 11.700	13.750 - 14.000	Fijo por satélite
		3.400 - 3.700	6.425 - 6.725	

Así mismo, de acuerdo al RPC se cuenta con registro de autorizaciones y concesiones para explotar los derechos de emisión y recepción de señales y bandas de frecuencias asociadas a sistemas satelitales extranjeros que cubran y puedan prestar servicios en el territorio nacional (aterrizaje de señales) con diferentes segmentos asociados (3600 - 3629 MHz, 3625 - 3700 MHz, 3650 - 3700 MHz).

5.2. Restricciones operativas

5.2.1. Convivencia con el Servicio Fijo por Satélite

De conformidad con el CNAF las bandas de frecuencias de 3.4 a 3.7 GHz (banda C extendida) y de 3.7 a 4.2 GHz (banda C estándar) están atribuidas al Servicio Fijo por

Satélite (SFS) a título primario, por lo que la operación de las redes privadas 5G en estas bandas o en bandas de frecuencias adyacentes no deben interferir perjudicialmente a las estaciones terrenas del SFS. Para ello, se proponen los siguientes casos de operación de convivencia con la finalidad de proteger las operaciones del SFS.

5.2.1.1. Caso de operación 1

En este caso, se propone que la operación de las redes privadas 5G se pueda llevar a cabo indistintamente en ambientes *outdoor* e *indoor*, y se deban establecer límites en lo que respecta a los siguientes parámetros técnicos:

- a. **Densidad de flujo de potencia (DFP):** un valor máximo medido a la entrada de las antenas de las estaciones terrenas que permita la correcta recepción de las señales satelitales en operación co-canal, así como el correcto funcionamiento del sistema de recepción de las estaciones terrenas en bandas adyacentes. En este sentido, se propone que la DFP se establezca de acuerdo con la banda de frecuencias en la que será medida y si tiene la finalidad de proteger la recepción de señales satelitales (DFP en la misma banda, DFPEB) o la operación del sistema de recepción de la estación terrena (DFP para evitar el bloqueo del receptor, DFPBR), tal y como se describe en la tabla siguiente.

DFP	Banda de frecuencias		
	3.3 a 3.4 GHz	Banda C extendida 3.4 a 3.7 GHz	Banda C estándar 3.7 a 4.2 GHz
DFP _{EB}	No aplica	Sí aplica	Sí aplica
DFP _{BR}	Sí aplica	Sí aplica	No aplica

- b. **Altura y orientación vertical de las antenas de las redes privadas 5G:** un valor máximo que permita el despliegue de las redes privadas 5G y que reduzca la posibilidad de que las emisiones de dichas redes causen interferencias perjudiciales a las estaciones terrenas del SFS.
- c. **Distancia de separación con las estaciones terrenas del SFS:** un valor mínimo de separación que asegure que los productos de intermodulación generados por las emisiones de las estaciones de las redes privadas 5G no interfieran perjudicialmente a las operaciones del SFS.

5.2.1.2. Caso de operación 2

Para el Caso 2, se proponen diferentes condiciones para las estaciones de las redes privadas 5G, las cuales dependen de su cercanía con alguna estación terrena del SFS en particular que requiera de una mayor protección:

- a. **Operación indistinta en ambientes *outdoor* e *indoor*:** para estaciones de las redes privadas 5G que se encuentran a una distancia igual o mayor a aquella establecida por el IFT, respecto de alguna estación terrena del SFS en particular que requiera de una mayor protección, considerando los mismos límites de DFP, altura y orientación vertical de antenas y distancia de separación con otras estaciones terrenas que se describieron en el Caso de operación 1.
- b. **Operación únicamente en ambiente *indoor*:** para estaciones de las redes privadas 5G que se encuentran a una distancia menor a aquella establecida por el IFT, respecto de alguna estación terrena del SFS en particular que requiera de una mayor protección, con los mismos límites de DFP descritos en el Caso de operación 1. Puesto que se prevé que las emisiones estén contenidas en algún tipo de inmueble o estructura cerrada, se considera que no es necesario cumplir con los límites de alturas de antenas y distancia de separación con otras estaciones terrenas.

5.2.1.3. Caso de operación 3

Al igual que en el caso de operación anterior, en este caso se proponen diferentes condiciones para las estaciones de las redes privadas 5G, las cuales dependen de su cercanía con alguna estación terrena del SFS en particular que requiera de una mayor protección, pero con la restricción de la operación en interiores:

- a. **Operación indistinta en ambientes *outdoor* e *indoor*:** para estaciones de las redes privadas 5G que se encuentran a una distancia igual o mayor a aquella establecida por el IFT, respecto de alguna estación terrena del SFS en particular que requiera de una mayor protección, considerando los mismos límites de DFP, altura y orientación vertical de antenas y distancia de separación con otras estaciones terrenas que se describieron en el Caso de operación 1.
- b. **Operación restringida:** no se podrán operar estaciones de las redes privadas 5G en una distancia menor a aquella establecida de alguna estación terrena del SFS en particular que requiera de una mayor protección.

5.2.2. Convivencia con el Servicios de Acceso Inalámbrico (SAI)

De acuerdo con el RPC²⁷, existen dos concesiones de espectro a nivel nacional para operar redes del SAI para uso comercial en los segmentos de 3.35 a 3.45 GHz y de 3.55 a 3.6 GHz, ambas con un duplexaje por división de tiempo (TDD). Debido a este duplexaje, y con la finalidad de hacer un uso más eficiente del espectro radioeléctrico y evitar interferencias entre las distintas redes del SAI, los títulos de concesión del SAI que operan en la banda de frecuencias de 3.3 a 3.6 GHz, obligan a mantener el mismo esquema de sincronización. Dicho esquema que, si bien es el ideal para la operación del SAI para uso comercial, puede que no lo sea para las distintas aplicaciones de las redes privadas 5G, por lo que, desde el punto de vista de la sincronización, a continuación, se exponen diversos casos de operación en donde se proponen las distintas formas de convivencia entre el SAI y las redes privadas 5G.

5.2.2.1. Caso de operación 1: mismo esquema de sincronización

En este caso, se propone que las redes privadas 5G adopten el mismo esquema de sincronización con el que opera el SAI. Con ello, se prevé que todo el espectro disponible pueda ser utilizado para la operación de las redes privadas en cualquier lugar del país, sin que esto conlleve problemas de interferencias perjudiciales con el SAI y con los demás usuarios de redes privadas 5G. No obstante, como se mencionó anteriormente, el esquema de sincronización con el que opera el SAI puede no ser el óptimo para todas las aplicaciones de las redes privadas 5G, especialmente para aquellas que priorizan el tráfico ascendente, lo que podría dar como resultado que el despliegue de las redes privadas 5G se vea limitado, y en algunos casos, no resulte viable la operación de redes con aplicaciones que requieren de esquemas de sincronización distintos.

5.2.2.2. Caso de operación 2: esquemas de sincronización distintos

A diferencia del caso anterior, en este caso se propone que las redes privadas 5G operen con el esquema de sincronización que más se ajuste a sus necesidades, de acuerdo a la aplicación que se trate. Así, la operación de las redes privadas 5G no se vería limitada con respecto de los esquemas de sincronización que utilizan las distintas aplicaciones, lo cual fomentará su despliegue y operación. Sin embargo, debido a la posibilidad de interferencias perjudiciales entre las redes del SAI y las redes privadas 5G, y entre las propias redes privadas 5G, deberán existir otras limitaciones en su operación para proteger las operaciones ya existentes, tal y como se describe a continuación:

²⁷ IFT, "Registro Público de Concesiones", IFT, México, 2024. Consultado el 21 de junio de 2024, disponible en: <https://rpc.ift.org.mx/vrpc>

- a. Será necesario establecer al menos un mecanismo de protección hacia las redes del SAI para que no se vean afectadas por la operación de las redes privadas 5G con sincronización distinta en la misma zona geográfica de operación. Entre estos mecanismos de protección se encuentran:
- implementación de bandas de guarda,
 - implementación de separación geográfica mínima entre las estaciones del SAI y las estaciones de las redes privadas, o
 - sólo permitir las operaciones de las redes privadas en ambientes *indoor* con límites de potencia en aquellas zonas geográficas donde se encuentren desplegadas las redes del SAI.
- b. Para aquellas redes privadas 5G que operen en la misma zona geográfica con esquemas de sincronización distintos, se propone proteger la red privada 5G que se haya puesto en operación primero, por lo que las redes privadas 5G entrantes deberán optar por al menos un mecanismo de protección para no afectar las operaciones ya existentes. Al igual que con el SAI, se proponen los siguientes mecanismos de protección cuando se quieran operar redes privadas 5G con esquemas de sincronización distintos: bandas de guarda, una separación geográfica mínima entre las estaciones de las redes privadas, o sólo permitir las operaciones de las redes privadas entrante en ambientes *indoor* con límites de potencia.

Cabe mencionar que, dependiendo del o de los mecanismos de protección que se elijan, es muy probable que a través de este caso de operación no se pueda hacer un uso eficiente del espectro radioeléctrico, ya que habría porciones de espectro que no serían utilizadas para la operación de redes privadas 5G (bandas de guarda) o no se pueda utilizar todo el espectro en cualquier lugar del país (separación geográfica mínima u operación sólo en ambientes *indoor*).

5.2.2.3. Caso de operación 3: esquemas de sincronización híbridos

En este caso de operación se propone que las redes privadas 5G puedan operar con esquemas de sincronización híbridos de acuerdo con lo siguiente:

- a. Para aquellas zonas geográficas donde ya existe la operación de redes del SAI, las redes privadas 5G deberán adoptar el mismo esquema de sincronización que el SAI para evitar interferencias perjudiciales.

- b. Para aquellas zonas geográficas donde no existe la operación de redes del SAI, las redes privadas 5G podrán operar con el esquema de sincronización que más se ajuste a sus necesidades, de acuerdo a la aplicación que se trate, para fomentar el despliegue de diversas redes privadas 5G. No obstante, para evitar interferencias perjudiciales entre las propias redes privadas 5G que operen con esquemas de sincronización distintos, se deberá establecer al menos un mecanismo de protección, de acuerdo con lo que se propone en inciso b del Caso de operación 2.

De esta forma, se prevé que el espectro pueda ser utilizado de mejor forma, sin afectar el despliegue de las distintas redes privadas 5G y tratando de evitar lo más posible las interferencias hacia el SAI o entre las propias redes privadas 5G.

5.2.3. Parámetros de operación

Adicionalmente a las restricciones técnicas que se adopten para la convivencia de las redes privadas 5G con el SFS y el SAI, se prevé que, para diferentes características técnicas se establezcan valores de operación que no limiten el despliegue de las redes privadas 5G, pero que complementen las restricciones técnicas para evitar interferencias perjudiciales. Para ello, se tomó en consideración la regulación de Australia, Brasil, Canadá, Chile, Estados Unidos (E.E.U.U.), Reino Unido y Singapur, con la finalidad de conocer lo que toman en cuenta para la regulación de las redes privadas 5G. En la tabla siguiente, se muestra si los países antes citados contemplan o no, diversos parámetros técnicos en la gestión de redes privadas 5G:

Característica técnica	País						
	E.E.U.U. ²⁸	Canadá ²⁹	Reino Unido ³⁰	Brasil ³¹	Chile ³²	Singapur ³³	Australia ³⁴
Bandas de frecuencias de operación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Ancho de banda de canal	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Sincronización	No	No	No	Sí	No	No	No

²⁸ Para mayor información, consúltese en: <https://www.fcc.gov/>

²⁹ Para mayor información, consúltese en: <https://ISED-ISDE.CANADA.CA/site/ISED/en>

³⁰ Para mayor información, consúltese en: <https://www.ofcom.org.uk/>

³¹ Para mayor información, consúltese en: <https://www.gov.br/anatel/pt-br>

³² Para mayor información, consúltese en: <https://www.subtel.gob.cl/>

³³ Para mayor información, consúltese en: <https://www.imda.gov.sg/>

³⁴ Para mayor información, consúltese en: <https://www.acma.gov.au/>

Característica técnica	País						
	E.E.U.U. ²⁸	Canadá ²⁹	Reino Unido ³⁰	Brasil ³¹	Chile ³²	Singapur ³³	Australia ³⁴
Altura de la antena de la estación base	No	No	Sí	No	No	No	No
Ángulo de elevación (tilt) para la antena de la estación base	No	No	No	No	No	No	No
Ganancia de antena de la estación base	No	No	No	No	No	No	No
Ganancia de antena de la terminal móvil	No	No	No	No	No	No	No
Potencia de transmisión para la estación base	No	No	No	Sí	No	No	No
PIRE para la estación base	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
Potencia de transmisión para la terminal móvil	No	No	No	Sí	No	No	No
PIRE para la terminal móvil	No	No	No	Sí	No	No	No
Máscara de emisión para la estación base	No	No	No	No	No	No	No
Máscara de emisión para la terminal móvil	No	No	No	No	No	No	No

Se puede observar que, son pocos los países que consideran los parámetros técnicos de operación para la regulación de las redes privadas 5G; esto porque en mayor medida se favorece la flexibilidad en su despliegue y operación. No obstante, en todos los países, la(s) banda(s) de frecuencias designada(s) para la operación de redes privadas 5G no se comparten con otros servicios de radiocomunicaciones, a diferencia de lo que ocurre en México. Por ello, se propone que como complemento a las restricciones de operación que se definan para la convivencia con el SFS y el SAI, también se establezcan límites para ciertos parámetros de operación de las redes privadas 5G, las cuales contribuyan a disminuir la probabilidad de interferencias perjudiciales. Entre dichos parámetros se proponen las siguientes:

- a. PIRE máxima para la estación base y la terminal móvil. Diferentes valores de PIRE máxima para la estación base en ambientes *outdoor* e *indoor*, los cuales permitan el despliegue de las redes privadas 5G en ambos ambientes, mientras que la PIRE máxima para la terminal móvil sea aquella recomendada por el 3GPP³⁵ para la o las bandas de frecuencias de operación establecidas.
- b. Altura y ángulo de elevación vertical (tilt) de la antena de la estación base. Con la finalidad de evitar que las emisiones provenientes de las redes privadas 5G interfieran a otros servicios de radiocomunicaciones.
- c. Máscaras de emisión para la estación base y la terminal móvil. Se recomiendan que sean las máscaras de emisión más restrictivas que establezcan organismos de estandarización a nivel internacional, como el 3GPP o ETSI³⁶, para no afectar a los usuarios del espectro que operen en bandas de frecuencias adyacentes. Con ello, se busca asegurar la convivencia entre las redes privadas con el SFS, el SAI y las propias redes privadas, especialmente si se considera operar con esquemas de sincronización distintos. Para ello, se recomienda que los interesados en operar redes privadas 5G, sólo lo hagan con equipos certificados de homologación emitidos por el IFT, cuyo proceso haya validado que dichos equipos fueron diseñados con tales máscaras de emisión.

Cabe mencionar que, en el caso del ancho de banda de canal, a diferencia de los países mencionados anteriormente, en donde la mayoría de las administraciones son las encargadas de asignar el espectro para la operación de redes privadas 5G, se prevé que el espectro para la operación de redes privadas sea proporcionado por un proveedor de capacidad. De esta forma, el ancho de banda de canal dependerá de la aplicación, las necesidades de comunicación y del espectro disponible que el proveedor de capacidad tenga disponible en la zona de operación de la red, bajo lo cual, no se considera conveniente hacer una propuesta relativa a una restricción del ancho de banda de canal.

6. Glosario de términos y acrónimos

Acrónimos y referencias	Significado
Acceso Inalámbrico	El enlace radioeléctrico bidireccional entre una red pública de telecomunicaciones y el usuario final, para la transmisión de

³⁵ *3rd Generation Partnership Project*, por sus siglas en idioma inglés.

³⁶ *European Telecommunications Standards Institute*, por sus siglas en idioma inglés.

	signos, señales, escritos, imágenes, video, voz, sonidos, datos o información de cualquier naturaleza.
Banda de frecuencias	Porción del espectro radioeléctrico comprendido entre dos frecuencias determinadas.
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.
DOF	Diario Oficial de la Federación
Generaciones móviles (1G a 5G)	Conjunto de tecnologías, sistemas, servicios, datos y aplicaciones que reúne la evolución de las redes móviles desde la Primera Generación a la Quinta Generación/GSM (2G), GPRS (2.5G), EDGE (2.75G), UMTS (3G), HSDPA (3.5G), HSUPA (3.75G), HSPA+ (3.9G) y LTE (4G).
Instituto	Instituto Federal de Telecomunicaciones.
Latencia	Es el tiempo que tardan en entregarse los paquetes de información que son enviados cuando solicitas una página de Internet, un video o la descarga de un archivo, etc. Este tiempo de entrega depende de la distancia entre el origen y el destino, la congestión de la red y el ancho de banda.
Ley	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión.
Red de telecomunicaciones	Sistema integrado por medios de transmisión, tales como canales o circuitos que utilicen bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, enlaces satelitales, cableados, redes de transmisión eléctrica o cualquier otro medio de transmisión, así como, en su caso, centrales, dispositivos de conmutación o cualquier equipo necesario.
Red privada	Sistema en el que los usuarios de dicha red constituyen un grupo cerrado y generalmente la infraestructura de red y los dispositivos son implementados y controlados por dicho grupo.
RPC	Registro Público de Concesiones del Instituto Federal de Telecomunicaciones.

RR	Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones.
SFS	Servicio Fijo por Satélite
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones.

ANEXO 1. Metodología para la determinación de las zonas geográficas para la asignación de espectro radioeléctrico para redes privadas

El INEGI tiene a disposición del público el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), el cual proporciona información sobre los establecimientos de México. En ese sentido, el DENUE ofrece datos de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de los negocios, según el estrato de personal ocupado. Para el presente análisis se utilizó la versión 2024 y se consideraron las actividades económicas de las industrias manufactureras, comercio al por mayor, transportes, correos y almacenamiento y minería que representan un universo de 823, 993 unidades económicas. De este universo, se seleccionaron aquellas cuyo tipo de asentamiento fuera corredor industrial, ciudad industrial o parque industrial, lo que representa un total de 12,961. Por último, se hizo una limpieza de la base de datos con base en el nombre del establecimiento, descartando lugares que no correspondieran a un complejo industrial, por ejemplo, cajeros, abarrotes, flapalerías entre otros reduciendo el número de unidades económicas a 12,787.

En el DENUE, la información de ubicación geográfica o domicilio geográfico se complementa con la clave geoestadística hasta nivel de manzana. Asimismo, se proveen las coordenadas geográficas (latitud y longitud) que permiten contar con la ubicación aproximada de los negocios en la cartografía geoestadística. Para asociar cada una de las unidades económicas al polígono de una manzana, se utilizó el Marco Geoestadístico, diciembre 2023 del INEGI (última versión disponible durante la realización de este análisis). Esta asociación se implementó de manera geoespacial utilizando las coordenadas geográficas de las unidades económicas; sin embargo, solo se encontraron polígonos para el 49.75% de estas.

Para las 6,425 unidades económicas sin un polígono asociado, se utilizó como criterio de asociación la distancia en metros al centroide del polígono de la manzana más cercana. En la Figura 1, se puede observar que el rango de valores llega hasta por encima de los 10,500 metros y que la pendiente de la curva de cuantiles se vuelve más pronunciada en la cola superior, por lo que existe una mayor dispersión en el 10% de los valores más altos.

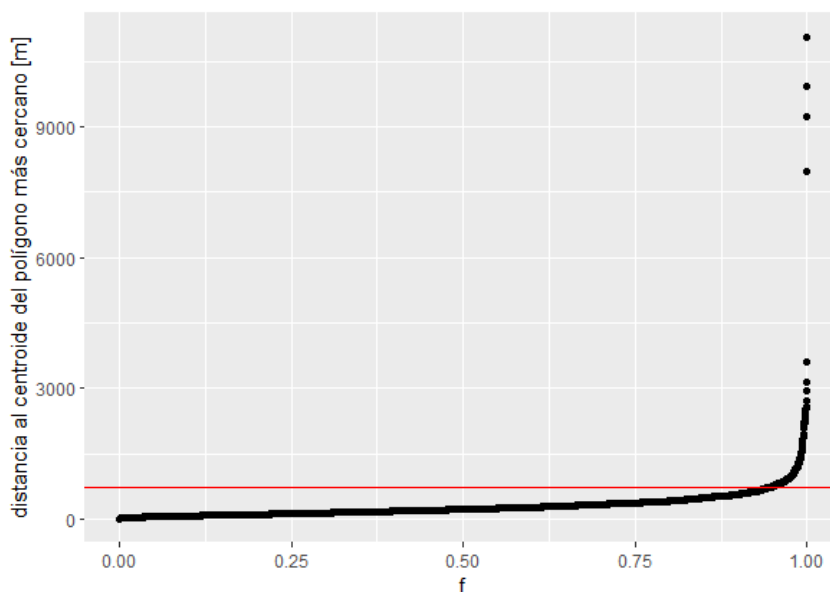


Figura 1: Gráfica de cuantiles de la distancia en metros de las unidades económicas sin un polígono asociado al centroide de la manzana más cercana.

Con el objetivo de definir un umbral para asociar unidades económicas a un polígono, se calculó el percentil 75% y se le sumó 1.5 veces el rango intercuartílico (la diferencia entre el percentil 75% y el 25%), obteniendo un valor de 735.92 metros. Esta estadística que nombraremos como L_s ³⁷, se utiliza comúnmente para definir valores atípicos en conjuntos de datos debido a que el rango intercuartílico es menos sensible a valores extremos en comparación a la media y la desviación estándar. En la Figura 1 se resalta el valor de L_s con una línea roja. En consecuencia, con este criterio el 97.38% de las unidades fueron asociadas al polígono de una manzana.

Una vez definidas las manzanas de interés, se hizo una depuración de las ubicaciones de manera visual utilizando como referencia los mapas de Google. Finalmente, se obtuvo un total de 3,437 polígonos.

En la Figura 2, se puede observar en color rojo la media (155,736 m² o 15.57 hectáreas) y en color azul la mediana (80,751 m² o 8.07 hectáreas) de las áreas de las manzanas asociadas a un complejo industrial. Cabe resaltar que el rango de valores es muy amplio, ya que va de 528 a 12,544,832 m². Observación: 1 km² = 1,000,000 m².

³⁷ Tukey, J. W. (1977). Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley.

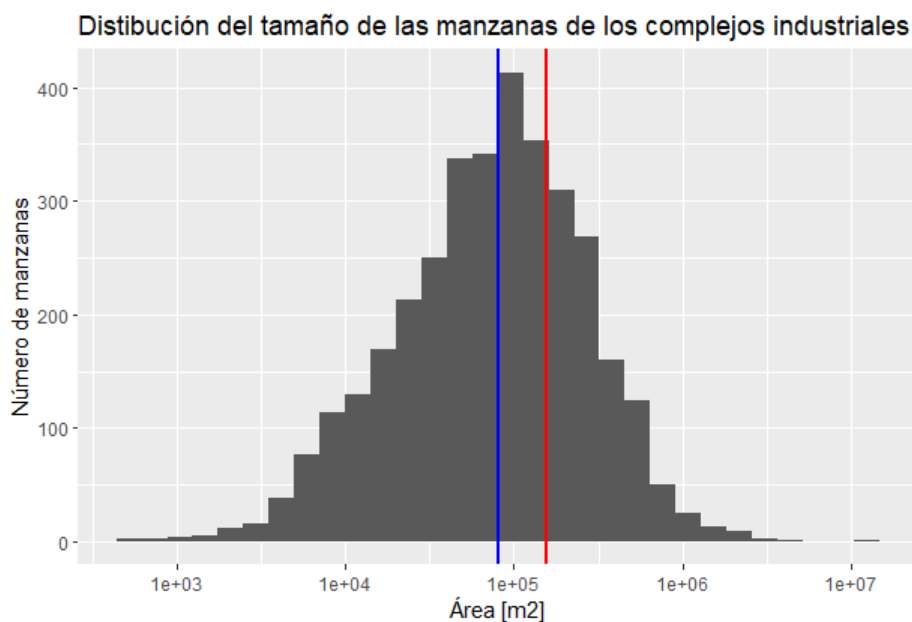


Figura 2: Histograma del tamaño de las manzanas asociadas a un complejo industrial

Dado que normalmente los complejos industriales se componen de varias manzanas y generalmente éstas se encuentran separadas por calles (los polígonos de las manzanas no comparten una frontera en común), se procedió a relacionarlas con base en la distancia entre sí. En la Figura 3 se muestra gráficamente una relación de vecindad, tomando como referencia el polígono de color negro. Para el presente análisis se establece que dos polígonos son vecinos sí y solo sí la distancia entre el centro de cada polígono (centroide) se encuentra a menos de una distancia R . Nótese que el número de vecinos depende directamente del valor del parámetro R .

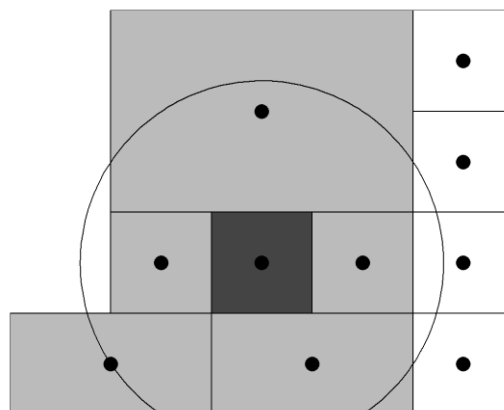


Figura 3: Polígonos vecinos con base en la distancia entre sí. El área de referencia se representa en color negro y los vecinos en color gris. El centro del círculo es el centroide del área de referencia y el radio es una distancia fija R ³⁸.

Para definir un valor apropiado para el parámetro R , se tomó como referencia la distancia a la manzana más cercana (que representaremos con la letra r). Entonces, para cada una de las 3,437 manzanas asociadas a un complejo industrial, se calculó el valor de r y se analizó su distribución. En la Figura 4, se puede observar que la curva de cuantiles de r es plana hasta los últimos valores, lo que nos muestra que un porcentaje reducido de las manzanas se encuentran muy alejadas de otra.

Análogamente a lo realizado con las unidades económicas, se definió un umbral para relacionar dos manzanas con base en los valores de r y se calculó la estadística L_s , obteniendo un valor de 945.11 metros. En la Figura 4, se resalta este valor con una línea roja.

Una vez que se definió el criterio para que dos manzanas sean vecinas, se procedió a generar un mapa de vecinos y a agrupar las manzanas con base en estos mapas. En la figura 5, se muestra un ejemplo del proceso para agrupar manzanas en el municipio de Mexicali. La agrupación se hace con base en el mapa de vecinos, es decir, dos manzanas pertenecen al mismo grupo si hay una sucesión de manzanas vecinas que las conecte. En el ejemplo podemos observar que hay dos grupos, los cuales corresponden a los parques industriales PIMSA I a la izquierda y PIMSA IV a la derecha de la imagen.

³⁸ Moraga, Paula. (2023). Spatial Statistics for Data Science: Theory and Practice with R. Chapman & Hall/CRC Data Science Series. ISBN 9781032633510

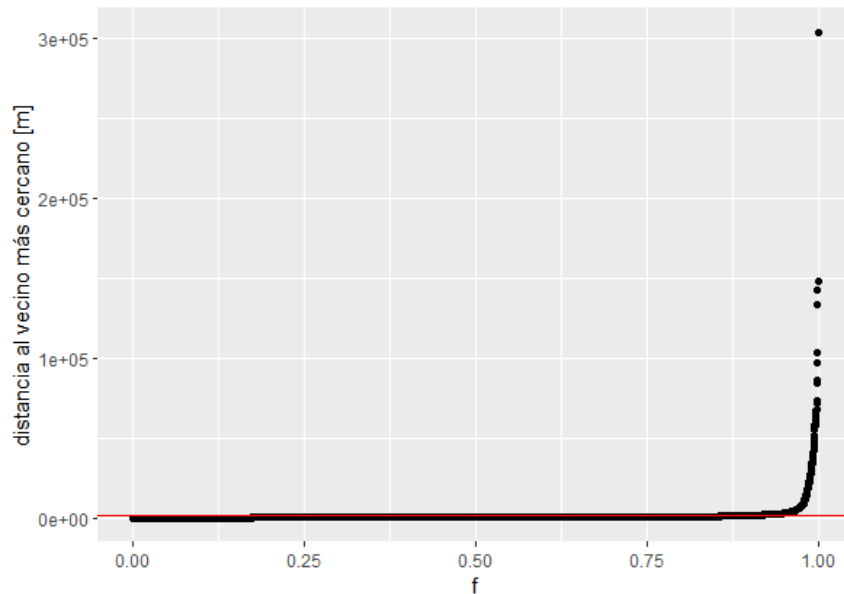


Figura 4: Gráfica de cuantiles de la distancia en metros a la manzana más cercana



Figura 5: Mapas de vecinos separados por una distancia menor a 945.15 metros.

Como resultado, se agruparon las 3,437 manzanas asociadas a un complejo industrial en 692 grupos. Por otro lado, para cada grupo de manzanas se generó la envolvente convexa³⁹ para tener un polígono por grupo. En la Figura 6, se muestra la envolvente convexa para los parques industriales PIMSA I y PIMSA IV en color rojo.

³⁹ Grünbaum, Branko. Convex Polytopes. 2nd ed., Springer-Verlag, 2003

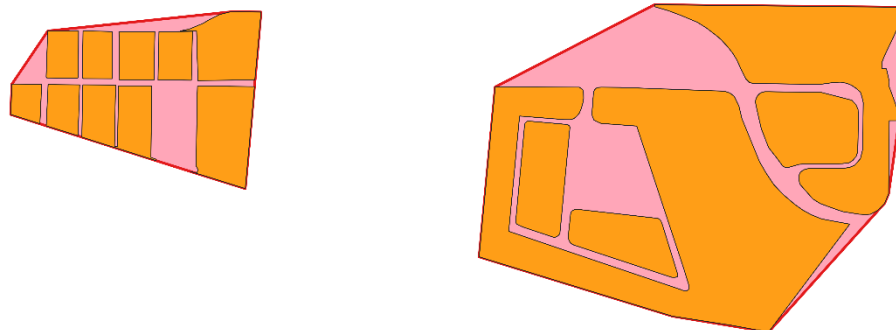


Figura 6: Envoltentes convexas para las manzanas que componen a los parques industriales PIMSA I y PIMSA IV

No obstante, al momento de generar las envoltentes convexas, existen casos donde los polígonos de dos grupos diferentes se intersecan. En la Figura 7, se puede observar un ejemplo de este fenómeno en dos grupos que forman parte del parque industrial San Martín de Obispo en el municipio de Cuautitlán Izcalli en el Estado de México. Lo anterior ocurre debido a la gran diversidad de formas y tamaños que pueden llegar a tener los polígonos de las manzanas analizadas. Más aún, lo que se buscaría es que polígonos que pertenecen a un mismo parque industrial estuvieran en el mismo mapa de vecinos.

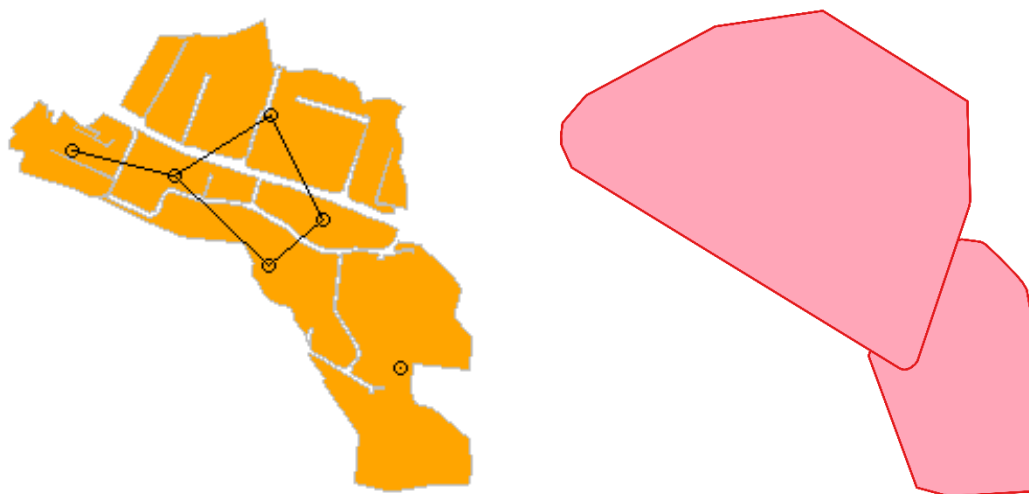


Figura 7: Parque Industrial San Martín Obispo. Izquierda: Mapa de vecinos Derecha: Polígonos de las envoltentes convexas de los dos grupos identificados.

Para solucionar este problema, se decidió unificar los grupos que se intersecan y generar envoltentes convexas a partir de las manzanas que pertenecen a esta nueva agrupación. Finalmente, se obtuvieron 676 zonas disjuntas. En la Figura 8, se puede

observar que la media (1,425,392 m²) en color rojo y la mediana con (314,159 m²) en color azul aumentaron con respecto a los valores de la figura 2. Adicionalmente, se observa que el rango de valores se extendió, ya que va de 528 a 40,934,812 m².

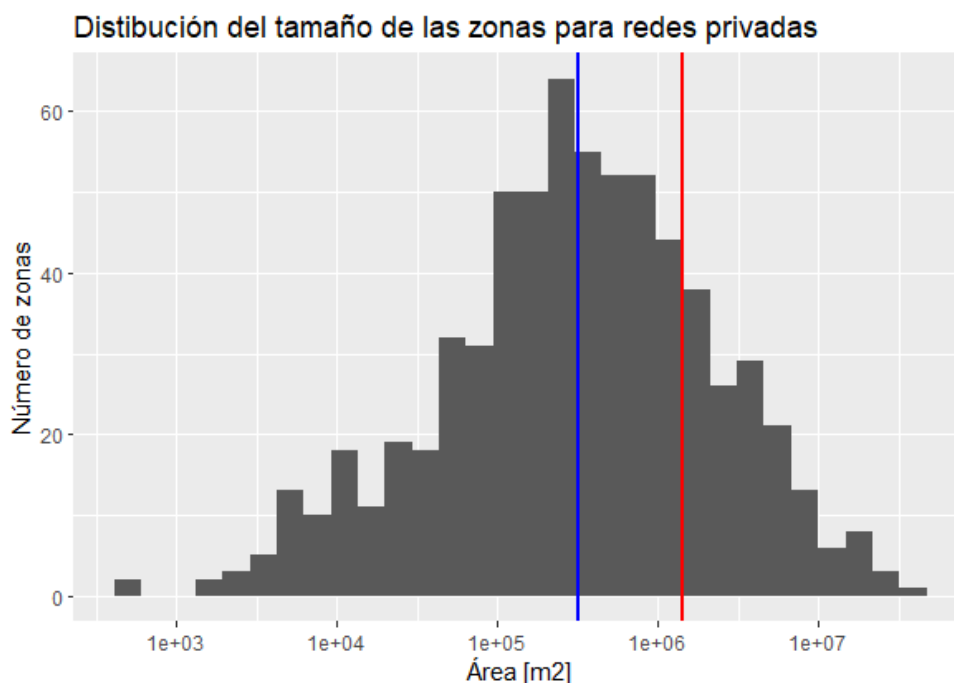


Figura 8: Histograma del tamaño de las zonas identificadas

Adicionalmente a los complejos industriales, los aeropuertos son zonas atractivas para el despliegue de redes privadas. En los cuadros 1 y 2 se presentan los principales aeropuertos de pasajeros y de carga en México⁴⁰, cuya información pertenece al período que comprende de enero a mayo de 2024:

Top 10		Pasajeros
Ciudad de México		18,603.7
Cancún		13,824.3
Guadalajara		7,038.2
Monterrey		4,997.7
Tijuana		4,969.8
San José del Cabo		3,301.3

⁴⁰ Estadística Operacional de Aeropuertos (Mayo 2024), disponible para consulta en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/924045/producto-aeropuertos-es-may-24-27062024.pdf>

Santa Lucía	2,165.2
Puerto Vallarta	3250.0
Mérida	1,494.6
Del Bajío	1,223.8

Cuadro 1: Estadística de pasajeros totales atendidos por los principales aeropuertos (miles de pasajeros)

Top 10	Pasajeros
Santa Lucía	182,985.6
Ciudad de México	96,270.9
Guadalajara	69,720.5
Monterrey	30,655.9
Querétaro	31,230.2
Toluca	16,214.5
Tijuana	15,721.0
Cancún	16,079.6
San Luis Potosí	11,364.4
Mérida	10,703.2

Cuadro 2: Estadística de carga total manejada por los principales aeropuertos (toneladas)

De los trece aeropuertos que se muestran en los dos cuadros anteriores, Cancún y Guadalajara no están mapeados en el Marco Geoestadístico, diciembre 2023 del INEGI. En consecuencia, se decidió solo incluir los 11 aeropuertos restantes en el presente ejercicio. Para cada uno de estos, se identificó de manera visual las manzanas que caen en el área física del aeropuerto. Para los aeropuertos que estuvieran compuestos de más de un polígono se generó una envolvente convexa para tener un solo polígono por aeropuerto.

Tras obtener las zonas correspondientes a los aeropuertos, se observó que algunas de estas se superponían con zonas destinadas a complejos industriales, en particular en los aeropuertos de Mérida, Toluca y del Bajío. En la Figura 9, se muestra un ejemplo de este fenómeno. Por ello, se decidió excluir las áreas de intersección en las zonas de los complejos industriales. Como resultado, se eliminó la porción de los complejos industriales que coincidía con la zona de un aeropuerto como se puede observar en la figura 9, logrando así un conjunto de zonas disjuntas que servirán como referencia para la concesión de espectro destinado a redes privadas.

Finalmente, se obtuvo un número final de 688 zonas. A cada una de las zonas identificadas se les asignó una Clave de cuatro dígitos con el formato XX.XX: los primeros dos dígitos representan el código de la entidad federativa a la que pertenecen y los últimos dos un identificador asignado por zona. Cabe mencionar que el estado de

Nuevo León tiene una zona adicional a las identificadas de manera inicial, la cual corresponde al parque industrial *Aero Industrial Park*, el cual se excluyó de la agrupación inicial con el objetivo de reducir el tamaño de la zona 19.11, la cual tiene una extensión de 40,934,812 m² y engloba múltiples parques industriales.

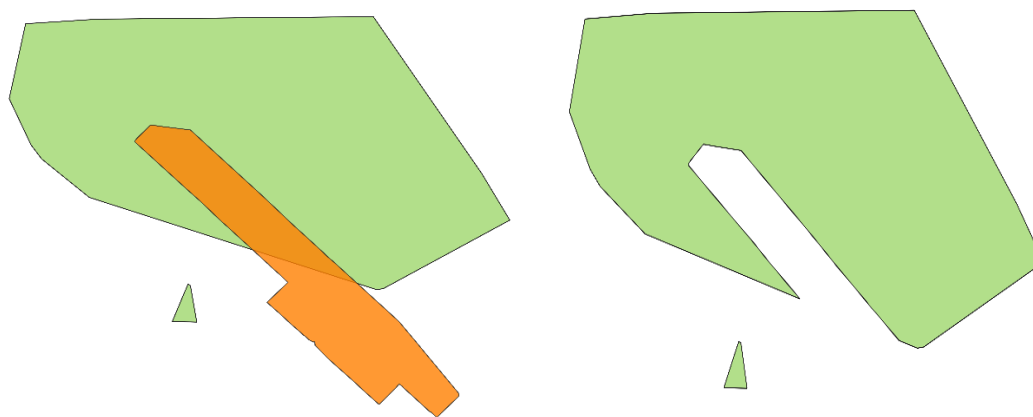


Figura 9: Izquierda: Intersección entre el área asignada al Parque Industrial Advance Puerto Interior y el Aeropuerto Internacional de Guanajuato (Del Bajío). Derecha: Nueva área asignada al Parque Industrial Advance.