

# LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS PARA HABILITAR LA CONECTIVIDAD SATELITAL DIRECT-TO-DEVICE (D2D) EN EL PAÍS

*Análisis de Impacto Normativo  
Identificación del Problema*

[www.ane.gov.co](http://www.ane.gov.co)



**ANE**



# TABLA DE CONTENIDO

<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	4
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	5
<b>SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b> .....	6
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>2. SITUACIÓN DE CONECTIVIDAD EN EL PAÍS Y CONTEXTO TECNOLÓGICO</b> .....	8
2.1. PRINCIPALES INDICADORES DE CONECTIVIDAD NACIONAL .....	8
2.2. EL ROL SUSTITUTIVO DEL INTERNET MÓVIL .....	13
2.3. COLOMBIA FRENTE A LA OCDE: MAGNITUD COMPARADA DE LA BRECHA .....	15
2.4. LIMITACIONES TÉCNICAS Y ECONÓMICAS DE IMT TERRESTRE EN ZONAS REMOTAS 15	
2.5. CONTEXTO TECNOLÓGICO .....	19
2.6. ESTUDIOS DE CONVIVENCIA DC-MSS-IMT ADELANTADOS EN COLOMBIA .....	33
2.7. CADENA DE VALOR.....	37
<b>3. DESARROLLOS REGULATORIOS A NIVEL INTERNACIONAL</b> .....	46
3.1. ESTADOS UNIDOS .....	47
3.2. AUSTRALIA.....	50
3.3. CANADÁ .....	53
3.4. REINO UNIDO .....	58
3.5. CHILE .....	63
3.6. CONCLUSIONES .....	66
<b>4. MARCO REGULATORIO EN COLOMBIA</b> .....	68
4.1. FUNDAMENTO CONSTITUCIONAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN COLOMBIA .....	68
4.2. RÉGIMEN LEGAL: LEY 1341 DE 2009.....	69
4.3. DESARROLLO REGLAMENTARIO: DECRETO 1078 DE 2015 .....	69
4.4. DIFERENCIACIÓN POR TIPO DE ESPECTRO.....	71
4.5. CONCLUSIÓN .....	78
<b>5. DEFINICIÓN Y ÁRBOL DEL PROBLEMA</b> .....	79
<b>5.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	79

<b>5.2. CAUSAS DEL PROBLEMA</b> .....	80
5.2.1. <b>CAUSAS DIRECTAS</b> .....	80
5.2.2. <b>CAUSAS RAÍZ</b> .....	81
5.3. <b>EFFECTOS DEL PROBLEMA</b> .....	82
<b>6. CONSULTA PÚBLICA</b> .....	85
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	88

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 sistemas de constelaciones satelitales .....	25
Tabla 2. Condiciones en la licencia D2D .....	59
Tabla 3. Límites de potencia para las emisiones no deseadas de satélites D2D en el espectro de enlace descendente móvil. Estos límites de potencia se aplican en la superficie de la Tierra. ....	61
Tabla 4. Mecanismos de acceso al espectro .....	71
Tabla 5 Procesos de asignación de espectro IMT en Colombia .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la velocidad de descarga móvil en Colombia, Q4 2019–2025 .....	9
Figura 2 Penetración de Internet en Hogares por Departamento .....	10
Figura 3. Distribución de velocidad de descarga móvil, Colombia Q4 2025 ....	11
Figura 4 Network Readiness Index 2024, Latinoamérica .....	12
Figura 5. Evolución canastas de precios TIC, Colombia 2018–2022. ....	13
Figura 6 Acceso a TIC en hogares: internet fijo, móvil y computador.....	14
Figura 7 Coberta geográfica IMT por tecnología en Colombia para 2026.....	16
Figura 7 . Escenario de frontera downlink - uplink.....	34
Figura 8 Distancia de separación entre la huella del sistema DC-MSS-IMT y la red IMT terrestre. ....	34
Figura 9 Estructura de la cadena de valor del ecosistema D2D.....	37
Figura 10 <i>Cadena de valor del ecosistema D2D y punto de convergencia entre redes IMT y satelitales</i> .....	38
Figura 11. Cadena de valor industria espacial.....	40
Figura 12 Flujo operativo del modelo híbrido satelital–terrestre en esquemas D2D.....	42
Figura 13 Aplicaciones satelitales como mecanismo de generación de valor para el cierre de la brecha digital. ....	44

## SIGLAS Y ACRÓNIMOS

### SIGLAS Y ACRÓNIMOS

D2D	conectividad satelital directa al dispositivo (Direct-to-Device)
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales
Mbps	Megabit por segundo
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
TB	Tera Bytes
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
LTE	Long Term Evolution (Evolución a Largo Plazo)
NR	New Radio (tecnología de acceso 5G)
NTIA	National Telecommunications and Information Administration
GSMA	Global System for Mobile Communications Association.
LEO	Low Earth Orbit (satélites de orbita baja)
GEO	Geostationary Orbit (órbita geoestacionaria)
NTN	Non terrestrial networks (redes no terrestres)
FCC	Federal Communications Commission
MNO	Mobile Network Operator (operador móvil)
SNO	Satellite Network Operator (operador satelital)
FSS	Servicio Fijo por Satélite
SMS	Servicio Móvil por Satélite
3GPP	3rd Generation Partnership Project (estándares de industria)
USRP	Universal Software Radio Peripheral

# 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo reciente de tecnologías de conectividad satelital directa al dispositivo (*Direct-to-Device*, D2D) plantea un cambio estructural en la forma en que se conciben y operan las redes de telecomunicaciones. Este fenómeno se articula en dos paradigmas con fundamentos técnicos, espectros de operación y grados de consolidación normativa distintos.

El primero es el Servicio Móvil por Satélite (MSS, *Mobile Satellite Service* por sus siglas en inglés) constituye un servicio radioeléctrico con definición, atribución espectral y marco regulatorio plenamente establecidos. El Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT lo define como el servicio en el que las comunicaciones entre estaciones terrenas móviles se establecen a través de uno o más satélites (ITU, 2020) y su artículo 5 identifica bandas específicas para su operación, entre ellas la banda L (1–2 GHz) y la banda S (2–4 GHz), con atribuciones primarias en las tres Regiones UIT. Estos derechos espectrales son independientes de las atribuciones IMT y preexisten a los debates actuales sobre integración terrestre-satelital.

El segundo paradigma agrupa soluciones que utilizan espectro identificado para IMT —bandas atribuidas al servicio móvil terrestre (IMT)— para prestar conectividad satelital directa al dispositivo.

El proyecto de que trata este documento se enfoca en este último caso: soluciones que utilizan espectro identificado para IMT para prestar conectividad satelital directa al dispositivo. Este fenómeno introduce oportunidades relevantes para ampliar la cobertura en zonas rurales y de difícil acceso, pero al mismo tiempo genera desafíos regulatorios significativos.

En el caso colombiano, si bien el marco regulatorio del espectro identificado para IMT ha permitido avances importantes en cobertura y calidad del servicio, su diseño responde a una lógica histórica de asignación exclusiva orientada a operadores terrestres. En este contexto, el presente documento tiene como propósito identificar y analizar el problema asociado a la incorporación de soluciones D2D en el país, a través del uso de bandas identificadas para IMT, evaluando las limitaciones del modelo vigente frente a estas nuevas tecnologías, así como sus implicaciones en términos de eficiencia del espectro y cierre de brechas de conectividad.

Así, este documento se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se presenta un diagnóstico del estado actual de la conectividad en Colombia, se explica cómo funciona técnicamente D2D y se presenta la forma en que se encuentra integrada su cadena de valor. Posteriormente, se exponen los avances regulatorios a nivel internacional en esta materia, para luego analizar el marco regulatorio vigente en el país en materia de uso del espectro radioeléctrico, con el fin de identificar sus principales características y restricciones frente a estas nuevas soluciones. A partir de este análisis, se propone una definición del

problema, seguido de la identificación de sus causas y efectos, y se incluye un cuestionario a través del cual se somete a consulta pública este documento.

## **2. SITUACIÓN DE CONECTIVIDAD EN EL PAÍS Y CONTEXTO TECNOLÓGICO**

La presente sección del documento es una visión general de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) sobre el estado de la conectividad en Colombia al cierre de 2025. Su propósito es doble: ofrecer una radiografía basada en evidencia de los avances y brechas en materia de telecomunicaciones, y fundamentar las decisiones de política de espectro.

Los datos revelan un país en transición acelerada. Realizando un análisis comparativo con datos de Ookla, la velocidad de acceso a internet móvil promedio se triplicó entre 2019 y 2025 (de 16,1 a 45,9 Mbps), impulsada por el despliegue comercial de redes 5G que a 4T 2025 ya alcanza 8.752 sectores distribuidos en 184 municipios. La base de suscriptores 5G supera los 9,3 millones de usuarios, y el tráfico móvil de datos excede los 1.900 TB trimestrales. Estas cifras dan muestra del dinamismo que ha tenido el sector de telecomunicaciones en Colombia (Ookla, 2026).

Sin embargo, los promedios nacionales encubren una realidad territorial diferente. Colombia presenta la mayor brecha urbano-rural en velocidad de banda ancha fija entre los países evaluados por la OCDE y la penetración de internet en hogares medida por el DANE oscila entre el 82,7% en Bogotá y el 15,4% en Vichada (DANE, 2024). Esta asimetría territorial, determinada en buena medida por la complejidad orográfica del país, plantea el principal desafío para la gestión del espectro: garantizar que el recurso se asigne y utilice de manera que maximice tanto la capacidad en zonas de alta demanda como la cobertura en territorios históricamente desatendidos. (Ookla, 2026), (OCDE, 2025).

### **2.1. Principales indicadores de conectividad nacional**

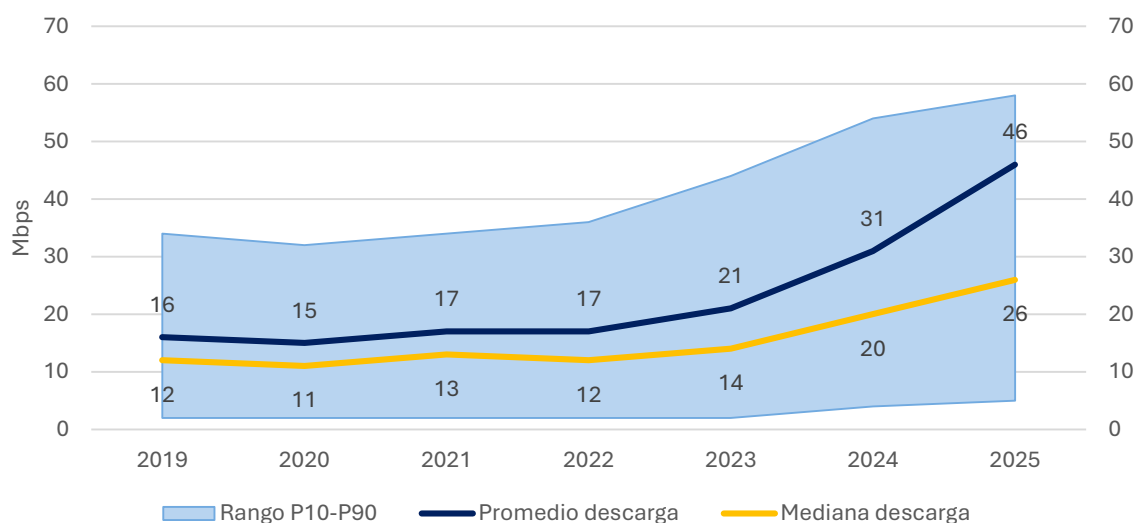
La presente sección establece la línea base de la conectividad colombiana a partir de tres dimensiones complementarias: velocidad de servicio, penetración en hogares y posicionamiento internacional. Los indicadores provienen de fuentes con metodologías distintas pero convergentes: mediciones crowdsourced de Ookla Speedtest, datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE e índices compuestos del Portulans Institute y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). La triangulación de estas fuentes permite un diagnóstico robusto que trasciende las limitaciones de cada metodología individual.

### 2.1.1. Velocidad y Penetración de Internet

La velocidad promedio de descarga móvil en Colombia<sup>1</sup> pasó de 16,1 Mbps en el cuarto trimestre de 2019 a 45,9 Mbps en el mismo periodo de 2025, lo que representa un incremento del 185%. El salto más pronunciado se concentró entre 2023 y 2025, periodo que coincide con el inicio del despliegue comercial de redes 5G NR por parte de Claro, Movistar y Tigo. Esta correlación temporal sugiere que la asignación de espectro en bandas de 3.500 MHz —materializada en los permisos otorgados a partir de 2024— ha tenido un impacto directo y medible sobre la experiencia de usuario.

No obstante, la mediana de velocidad —indicador más representativo de la experiencia típica al ser menos sensible a valores extremos— se situó en 26,3 Mbps. La distancia entre media y mediana (19,6 Mbps) evidencia que una fracción significativa de usuarios aún experimenta velocidades sustancialmente inferiores al promedio nacional, dato relevante para la planificación de espectro orientada a universalizar umbrales mínimos de servicio.

**Figura 1. Evolución de la velocidad de descarga móvil en Colombia, Q4 2019–2025**



**Fuente:** Speedtest® by Ookla®.

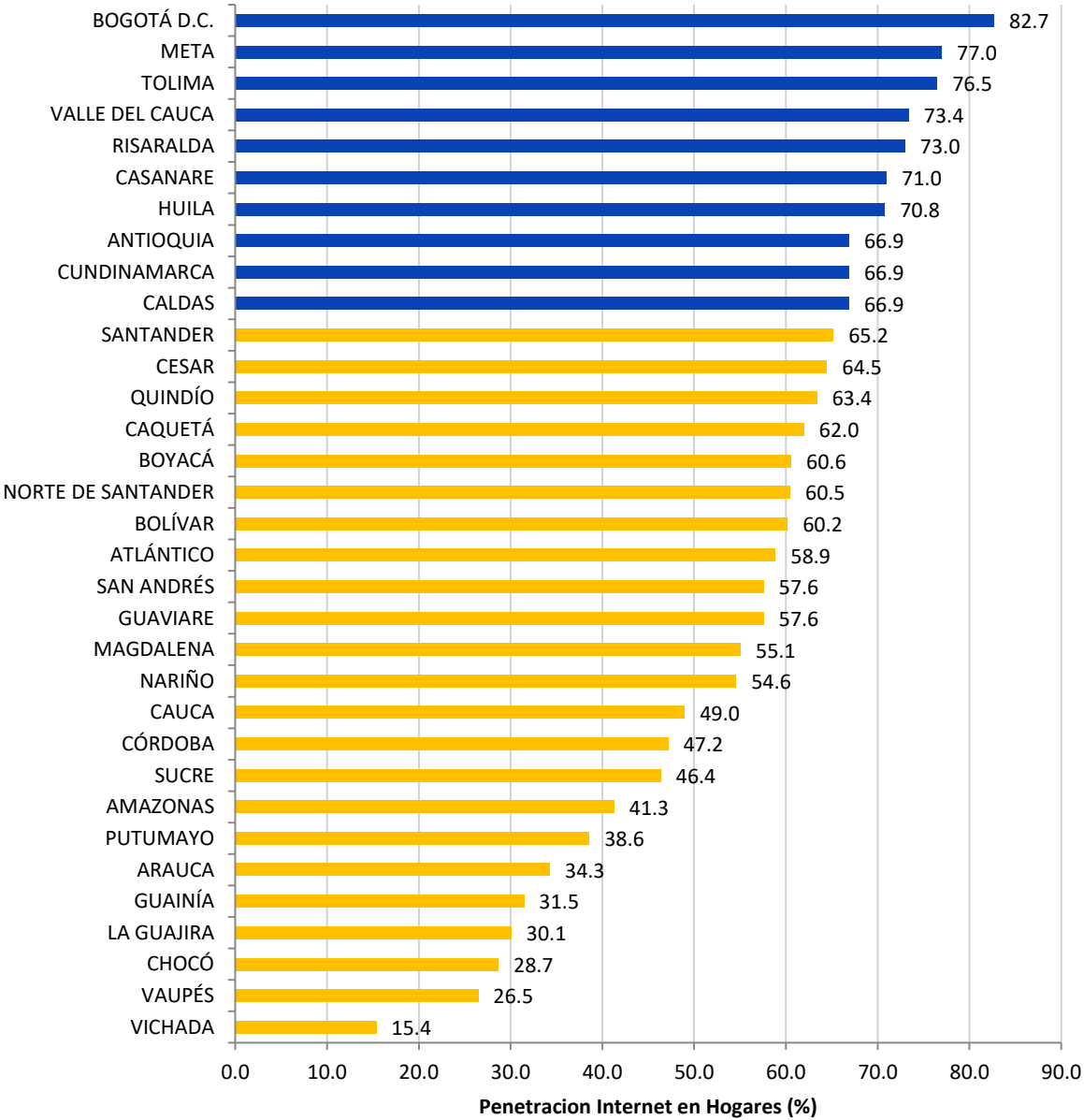
Adicionalmente, según la Encuesta Nacional de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (ENTIC) 2024 del DANE, el 65,6% de los 18.489.373 hogares colombianos cuenta con conexión a internet. Del total de hogares conectados, el 73,6% accede mediante internet fijo y el 62,8% a través

<sup>1</sup> Metodología crowdsourced de Ookla. Esta tecnología de medición de red evalúa el rendimiento de tu conexión mediante el envío de paquetes de datos a servidores optimizados para medir la velocidad y estabilidad de tu acceso a internet.

de internet móvil. Un dato estructuralmente significativo es que solo el 35,7% de los hogares posee un computador o tableta, lo cual confirma que el teléfono celular constituye el principal dispositivo de acceso a internet en el país.

Esta configuración de acceso tiene implicaciones directas para el uso del espectro. Un ecosistema donde la mayoría de las conexiones depende de terminales móviles exige que la planificación de frecuencias priorice la capacidad y cobertura de las redes inalámbricas, no como complemento sino como infraestructura primaria de conectividad para millones de hogares colombianos.

**Figura 2. Penetración de Internet en Hogares por Departamento**



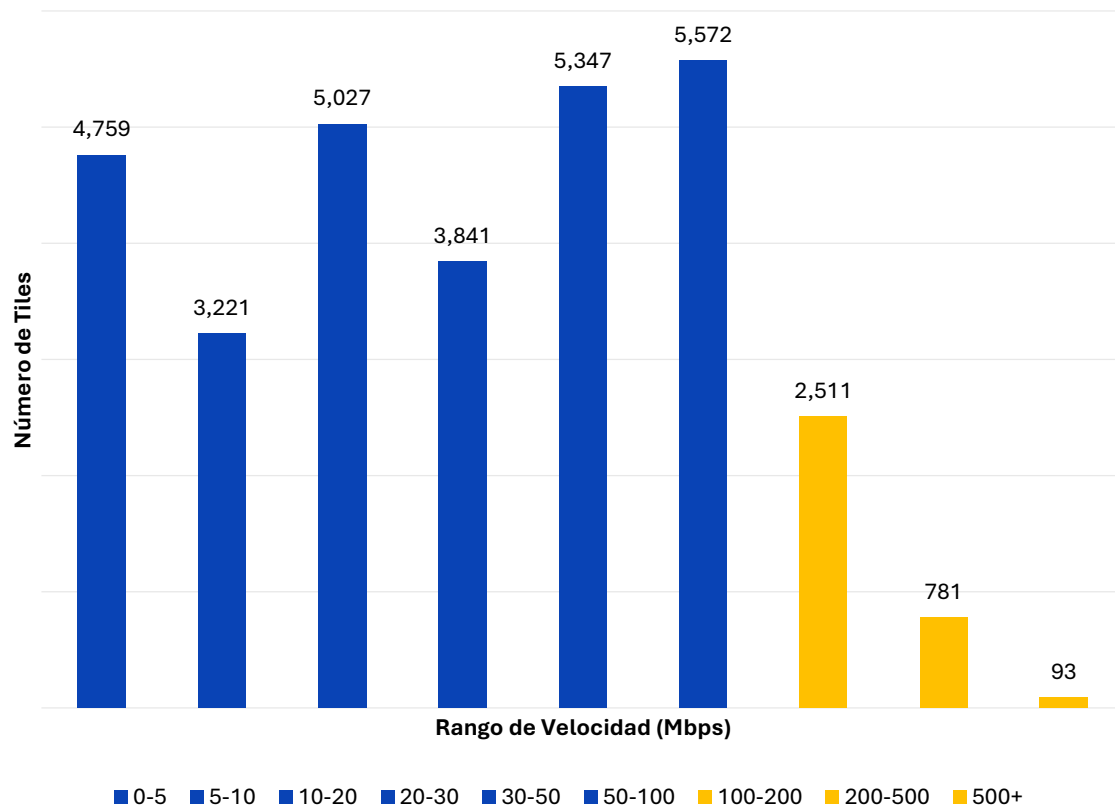
Fuente: DANE (ENTIC 2024)

### 2.1.2. Distribución de velocidades: la heterogeneidad tras los promedios

El análisis distribucional de velocidades revela una marcada dispersión territorial que los promedios nacionales no capturan. En el cuarto trimestre de 2025, el percentil 10 de velocidad de descarga móvil apenas alcanzaba 2,9 Mbps, mientras que el percentil 90 llegaba a 105,1 Mbps. Esta brecha de más de 100 Mbps entre el decil más lento y el más rápido de la población refleja las profundas asimetrías entre zonas urbanas con cobertura 5G y áreas rurales donde la conectividad aún depende de redes 3G.

Desde la perspectiva de la gestión del espectro, esta distribución bimodal plantea un dilema de política pública: mientras los centros urbanos requieren mayor capacidad espectral para sostener la demanda creciente de servicios 5G, las zonas rurales necesitan acceso a bandas bajas de mayor propagación para alcanzar umbrales mínimos de conectividad funcional.

**Figura 3. Distribución de velocidad de descarga móvil, Colombia Q4 2025**

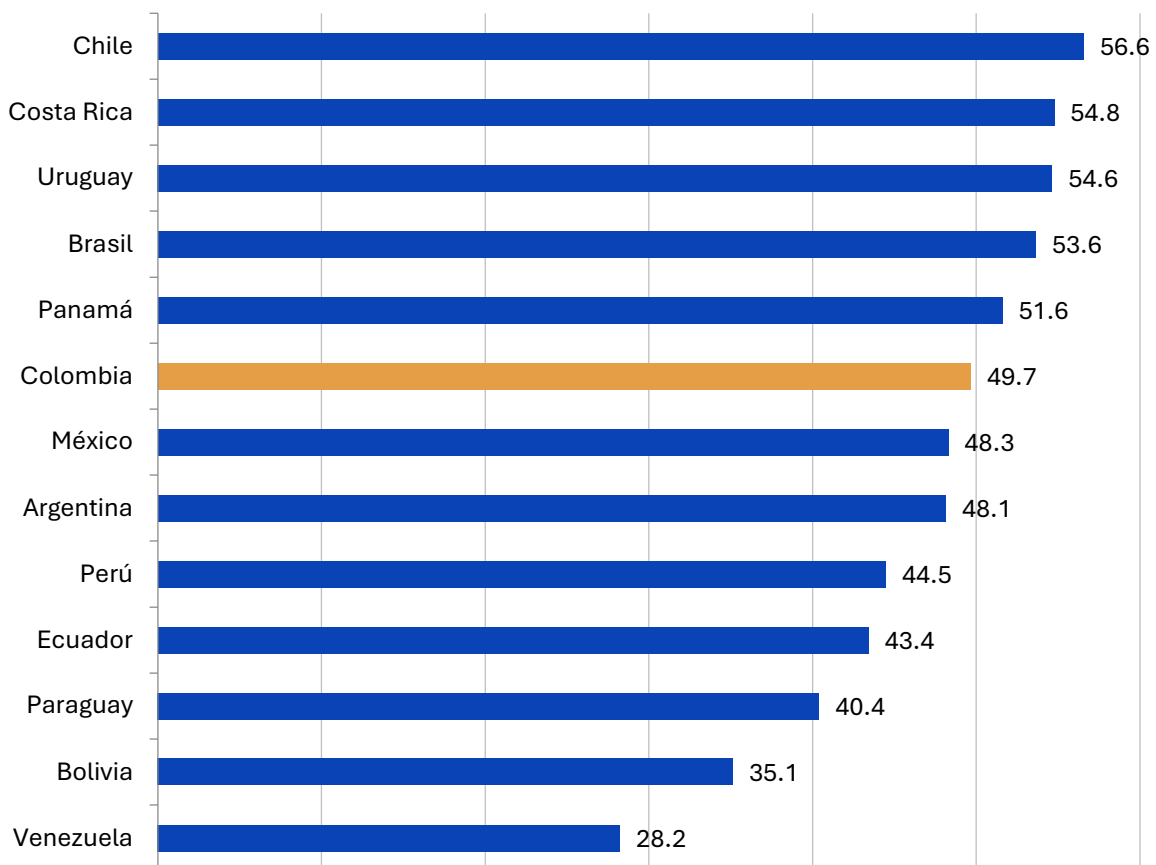


Fuente: Speedtest® by Ookla®.

### 2.1.3. Posicionamiento internacional: avances en asequibilidad, rezago en infraestructura tecnológica

Colombia ocupa la posición 63 del Network Readiness Index (NRI) 2024, con un puntaje de 49,67 sobre 100. En el contexto latinoamericano, el país se ubica sexto, detrás de Chile (38), Costa Rica (42), Uruguay (43), Brasil (51) y Panamá (56). El análisis por pilares revela que Gobernanza (54,51) es la dimensión más sólida —reflejo de un marco institucional relativamente maduro en materia de telecomunicaciones—, mientras que el pilar de Tecnología (43,74) representa el principal rezago, asociado a limitaciones en infraestructura de acceso y adopción de tecnologías emergentes.

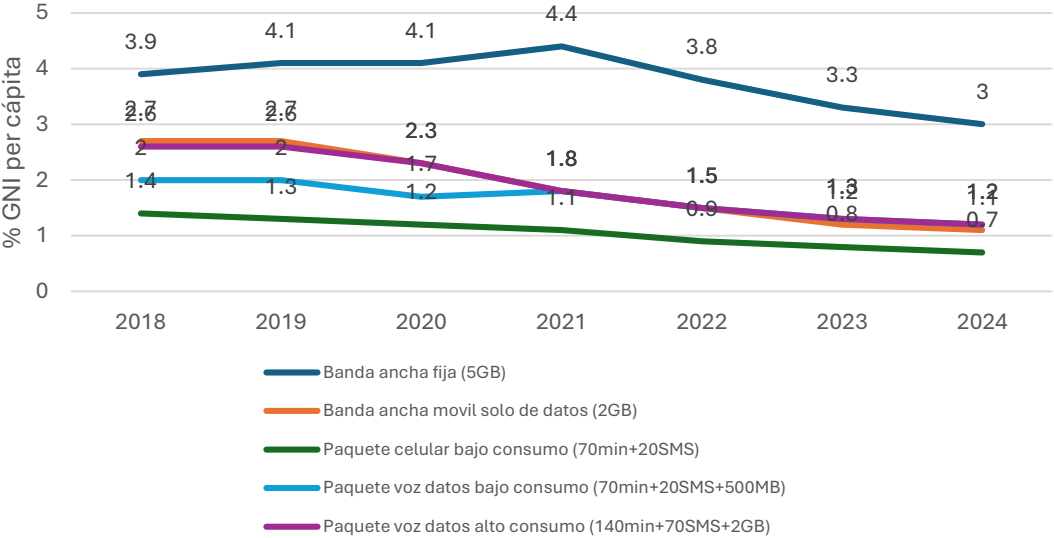
**Figura 4 Network Readiness Index 2024, Latinoamérica**



**Fuente:** Network Readiness Index. (Portulans Institute, 2026)

En materia de precios, las canastas TIC de la UIT registran una tendencia favorable sostenida. El costo de banda ancha móvil se redujo de 2,7% a 1,1% del ingreso nacional bruto per cápita mensual entre 2018 y 2024, una disminución del 59% que sitúa a Colombia por debajo del umbral de asequibilidad definido por la Comisión de Banda Ancha de las Naciones Unidas (2% del GNIpc). De forma similar, todas las canastas móviles alcanzaron niveles asequibles en 2024: el paquete de voz y datos de alto consumo pasó de 2,6% a 1,2%, y el paquete celular de bajo consumo llegó a 0,7% del GNIpc. No obstante, la banda ancha fija continúa siendo la excepción: aunque mejoró de 3,9% en 2018 a 3,0% en 2024 —tras alcanzar su punto máximo de 4,4% en 2021—, sigue siendo la única canasta por encima del umbral de asequibilidad. Este diferencial persistente entre el acceso fijo y el móvil refuerza la tendencia hacia la conectividad exclusivamente móvil como vía predominante, con consecuencias directas sobre la demanda de espectro y los patrones de uso de datos.

**Figura 5. Evolución canastas de precios TIC, Colombia 2018–2024.**



Fuente: UIT – ICT Price Baskets

## 2.2. El rol sustitutivo del internet móvil

En Colombia se evidencia una expansión significativa y una mayor capilaridad de las redes de acceso de fibra óptica, impulsadas por los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones. En este proceso han tenido un papel destacado los operadores locales y regionales, quienes han contribuido de manera relevante al despliegue de infraestructura en zonas donde los operadores de mayor escala no tienen presencia. No obstante, en términos de

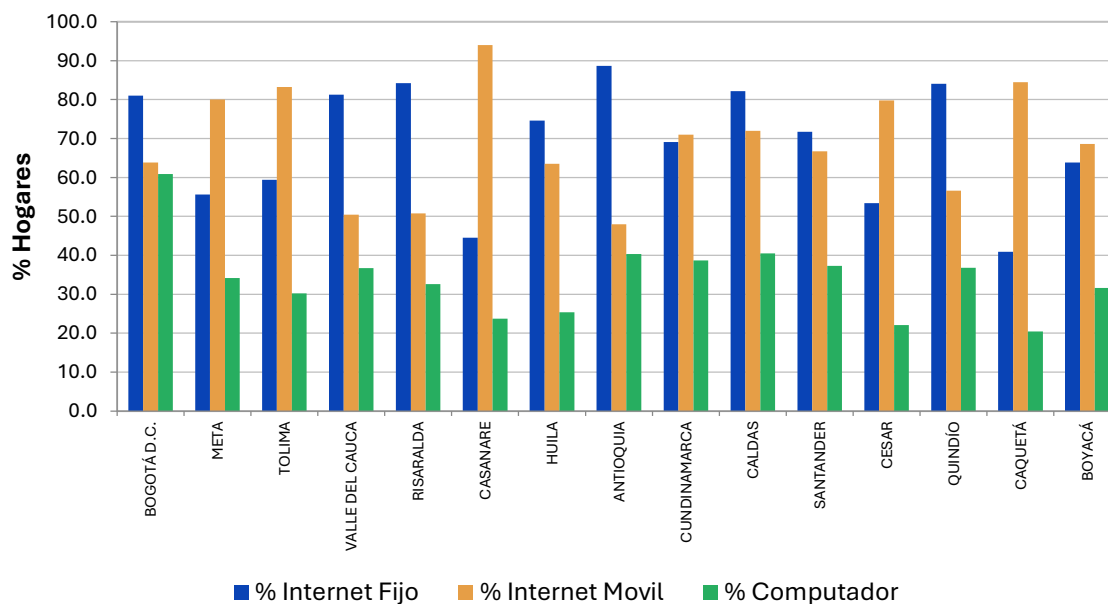
penetración de internet fijo en los hogares, persisten importantes disparidades entre regiones, así como entre las principales ciudades y las zonas más apartadas (MinTIC, 2024).

En el ámbito de la banda ancha móvil, las redes existentes han alcanzado una cobertura del 92,6% de la población con tecnología 4G (MinTIC, 2024). A su vez, han surgido alternativas tecnológicas, como los sistemas satelitales, que permiten ofrecer conectividad en zonas remotas a costos que anteriormente no eran viables en el mercado.

Un hallazgo de particular relevancia para la gestión del espectro es el rol que las redes móviles desempeñan como sustituto funcional de la infraestructura fija en territorios donde el despliegue de fibra óptica resulta económicamente inviable. En departamentos como Casanare, la penetración de internet móvil alcanza el 94% frente a solo 44% en fijo. Patrones similares se observan en Meta (80% móvil vs. 56% fijo) y Tolima (83% móvil vs. 59%).

Este fenómeno tiene una implicación directa: en estos mercados, el espectro radioeléctrico no es un recurso complementario al servicio fijo, sino el sustrato físico sobre el cual descansa la conectividad primaria de la población. Las decisiones de asignación y las condiciones de uso de las bandas móviles deben incorporar esta realidad, garantizando suficiente capacidad espectral para soportar un nivel de demanda que, en estos territorios, equivale funcionalmente al de una red fija.

**Figura 6 Acceso a TIC en hogares: internet fijo, móvil y computador.**



Fuente: DANE, ENTIC 2024.

## **2.3. Colombia frente a la OCDE: magnitud comparada de la brecha**

El informe de la OCDE "Closing Broadband Connectivity Divides for All"<sup>2</sup> (2025) sitúa a Colombia como el país con la mayor brecha urbano-rural en velocidad de banda ancha fija entre los evaluados, con 106 Mbps de diferencia entre regiones metropolitanas y regiones alejadas de estas últimas. Para contexto, la brecha promedio en países OCDE es de 24 puntos porcentuales.

Estos datos comparados refuerzan la necesidad de que la gestión del espectro incorpore mecanismos explícitos de cierre de brecha: uso estratégico de bandas de frecuencia baja, compartición de infraestructura pasiva y activa, entre otros.

## **2.4. Limitaciones técnicas y económicas de IMT terrestre en zonas remotas**

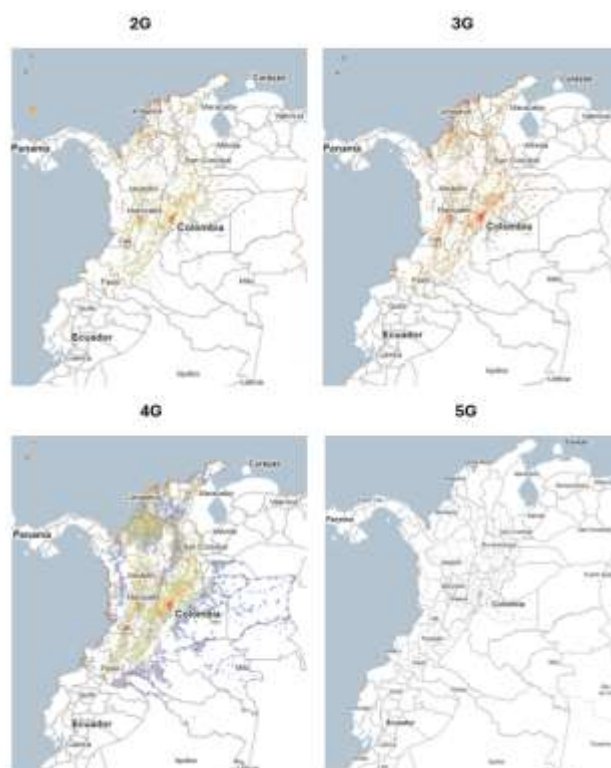
### **2.4.1. Distribución del uso del espectro IMT en el país**

En Colombia se han otorgado permisos de uso de espectro a nivel nacional. A pesar de esto, se presenta una distribución geográfica heterogénea, caracterizada por la coexistencia de zonas densamente aprovechadas y amplias áreas sin uso operativo. Esta dinámica se refleja claramente en los mapas por tecnología, donde las redes se concentran principalmente en el corredor andino, evidenciando un patrón de desarrollo histórico centrado en los principales núcleos urbanos y económicos del país.

---

<sup>2</sup> El informe de la OCDE (2025) analiza las brechas de conectividad espacial, subrayando la necesidad de garantizar calidad y asequibilidad de banda ancha en zonas rurales y urbanas. El documento emplea datos de más de 60 países para evaluar el rendimiento a nivel subnacional y orientar el diseño de políticas públicas basadas en evidencia. Visite el sitio web de la OCDE para más información.

**Figura 7 Coberta geográfica IMT por tecnología en Colombia para 2026**



**Fuente:** ANE Visor de espectro

A medida que se avanza hacia tecnologías más recientes, como 4G, se observa una mayor extensión territorial de la infraestructura; sin embargo, dicha expansión no logra cubrir de manera homogénea el territorio nacional. Finalmente, dado el funcionamiento propio de la tecnología 5G, diseñada de manera inicial para lugares con alta concentración poblacional, el mismo refleja un despliegue limitado a puntos específicos, lo que refuerza la idea de una transición tecnológica en curso. En este contexto, los mapas evidencian no solo diferencias tecnológicas, sino también una persistente brecha territorial en el aprovechamiento del espectro, lo que puede verse explicado por los puntos que a continuación se describen.

#### **2.4.2. Barreras técnicas estructurales del despliegue IMT terrestre**

Las redes de telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) — que comprenden LTE/4G y 5G NR — requieren, por diseño, una infraestructura densa de estaciones base (eNB / gNB) interconectadas. En entornos urbanos, esta densidad es económicamente viable porque el número de usuarios por sitio

amortiza la inversión. En zonas remotas y de baja densidad, las mismas exigencias técnicas se convierten en barreras insalvables por al menos cuatro razones estructurales:

#### **2.4.2.1. Propagación radioeléctrica y distancias de cobertura**

Las bandas más utilizadas para IMT en rangos entre 700 MHz y 2.700 MHz ofrecen un compromiso entre capacidad y cobertura. En terreno llano y despejado, una macrocelda IMT operando en la banda de 700 MHz (banda baja de buena cobertura) puede cubrir radios efectivos de entre 5 y 14 km bajo condiciones de planeación real (3GPP, 2023) —con un límite teórico máximo de aproximadamente 35 km impuesto por la ventana de temporización LTE—, aunque los escenarios de referencia del 3GPP (TR 38.913) definen una distancia entre sitios (*inter-site distance*, ISD) de 1.732 m para macro rural y de hasta 7.000 m en escenarios de largo alcance extremo (3GPP, 2018).

En topografía irregular —cordilleras, selvas densas, valles encajonados—, el radio efectivo se reduce drásticamente: las obstrucciones generan pérdidas de difracción adicionales calculadas según el modelo ITU-R P.526 (ITU, 2021), mientras que la absorción de la vegetación densa puede añadir hasta 20 dB extra de atenuación en la banda de 700-900 MHz, tal como documenta la Recomendación ITU-R P.833-10. Estos efectos combinados pueden reducir el radio de cobertura efectivo a menos de 2 km en fondos de valle con cobertura vegetal densa (ITU, 2021). Esto implica que una zona montañosa de 10.000 km<sup>2</sup> con topografía severa puede requerir varios cientos de sitios adicionales, frente a los ~130 sitios que se necesitarían en terreno llano con un radio de 5 km; multiplicando los costos sin aumentar el número de usuarios servidos.

#### **2.4.2.2. Energía eléctrica y backhaul**

El funcionamiento continuo de una estación base requiere un suministro eléctrico estable —típicamente entre 1 y 5 kW por sitio— y conectividad de transporte (backhaul) hacia la red troncal. En zonas remotas, ninguna de estas dos condiciones está garantizada. La GSMA documenta que, en la República Democrática del Congo, más del 60 % de los sitios necesarios para cerrar la brecha de cobertura se localizan a más de 100 km de la red eléctrica (GSMA, 2025).

En estos escenarios, los operadores deben recurrir al uso de generadores diésel, cuyo costo operativo —asociado al combustible, transporte, mantenimiento y seguridad— puede representar entre el 60 % y el 70 % del OPEX total del sitio, lo que hace inviable el modelo de negocio sin la existencia de subsidios. En Colombia a marzo de 2025, se tienen identificadas 1.664 localidades

concentradas dentro de las ZNI (Zonas No Interconectadas). Estas localidades, operan mediante esquemas energéticos autónomos que tienen una capacidad instalada de 335.271 kW, donde el 78% proviene de generación diésel (262.056 kW) y el 22% corresponde a fuentes de energía renovable no convencional (73.215 kW), (Danny Ramírez, 2025) lo que dificulta el despliegue en estas zonas del país debido a los altos costos que implica tener un generador diésel funcionando 7 x 24 todo el año.

Por su parte, el backhaul por microondas, como alternativa al despliegue de fibra óptica, requiere línea de vista directa entre repetidores, una condición que la compleja orografía colombiana frecuentemente impide. En consecuencia, dentro de los costos considerados para las obligaciones de hacer en Colombia, los valores de OPEX más elevados se presentan en aquellos sitios donde la solución energética se basa en generadores diésel y la conectividad de backhaul se implementa mediante enlaces satelitales (MinTIC, 2023).

### **2.4.2.3. Costo por usuario y modelo de negocio**

El despliegue de una estación base 4G en zona rural implica costos de capital (CAPEX) que oscilan \$1.800 y \$2.200 millones de pesos por sitio en zonas acceso complejo (MinTIC, 2023) —incluyendo equipos de radio, torre, obra civil, alimentación eléctrica e instalación— con costos operativos anuales (OPEX) que pueden equivaler a 2 o 2,5 veces el CAPEX inicial a lo largo de diez años (PATENTC, 2024). En una zona con densidad poblacional de 5 habitantes/km<sup>2</sup> y tasa de adopción del 50%, el ingreso promedio por usuario (ARPU) del país, jamás alcanzará el umbral de recuperación de la inversión en horizontes comerciales razonables. La NTIA de los EE. UU. y el Banco Mundial coinciden en que las zonas no servidas carecen de un caso de negocio viable por sí solas, razón por la cual la inversión privada no ocurre espontáneamente (NTIA, 2022).

Como referencia de magnitud: para cerrar globalmente la brecha de cobertura IMT restante, la GSMA estima que se requieren USD 418.000 millones en inversión de infraestructura, concentrados justamente en las zonas rurales remotas de países de bajos y medianos ingresos (GSMA, 2024). Esta cifra —equivalente al PIB de Colombia en 2024 (Banco Mundial, 2025)— ilustra la escala del problema y la razón por la cual el mercado por sí solo es incapaz de resolverlo.

La evidencia más contundente sobre los costos de la cobertura rural proviene de los propios proyectos públicos colombianos. El MinTIC, en su Plan Nacional de Conectividad Rural presentado en abril de 2024, comprometió una inversión de \$1,7 billones de pesos (aproximadamente USD 420 millones) para conectar a 400.000 personas en 178 municipios de nueve departamentos, con enfoque en el Pacífico, la Amazonía, La Guajira, el sur de Bolívar y Vichada (MinTIC, 2024).

Esta cifra equivale a un costo promedio de conectividad de \$4,25 millones de pesos por persona beneficiada (USD ~1.050), cifra que contrasta radicalmente con los costos de servicio en zonas urbanas donde la infraestructura existente permite amortizar la inversión entre millones de usuarios.

### **2.4.3. Conclusión: la necesidad de tecnologías complementarias**

El panorama descrito en las secciones anteriores evidencia una conectividad colombiana que avanza a dos velocidades. Mientras el país mantiene una trayectoria positiva en asequibilidad —con la canasta de banda ancha móvil reduciéndose del 2,74% al 1,50% del ingreso nacional bruto per cápita entre 2018 y 2022— y registra una migración tecnológica acelerada hacia 4G y 5G, con 9,3 millones de usuarios en la fase inicial de la nueva generación, la distribución territorial de esa mejora es profundamente asimétrica. La brecha entre el decil inferior y el decil superior de velocidad de descarga móvil —de 2,9 Mbps a 105,1 Mbps— cuantifica en términos de experiencia de usuario lo que los indicadores agregados expresan de forma más abstracta: la calidad del servicio móvil en Colombia está mediada, en primer lugar, por la geografía, la densidad poblacional y la capacidad económica de expansión de los operadores.

El diagnóstico presentado en este documento configura un escenario de oportunidades y desafíos que requieren respuestas diferenciadas desde la política de gestión del espectro.

Esta desigualdad en la cobertura no es algo temporal, ni propio de una etapa inicial del despliegue de nuevas tecnologías, sino un problema estructural del modelo actual de despliegue de las redes IMT, el cual solo es rentable donde hay suficiente población y un nivel de ingresos adecuado por usuario, condiciones que no se cumplen en muchas zonas rurales dispersas ni en territorios marítimos, insulares y de frontera.

## **2.5. Contexto tecnológico**

La tecnología D2D constituye una de las transformaciones más disruptivas que ha experimentado la industria de las telecomunicaciones en los últimos años. Tradicionalmente, la comunicación por satélite estuvo restringida a actores altamente especializados —como gobiernos, fuerzas militares, operadores marítimos y grandes empresas— que contaban con terminales costosos y antenas especializadas de gran tamaño. En la actualidad, esa barrera tecnológica y económica ha sido superada en gran medida y ya no solo los actores convencionales tienen acceso a los servicios satelitales, sino se abre un abanico

de opciones para que estos servicios se masifiquen. Hoy, un teléfono inteligente convencional, idéntico al que utiliza cualquier usuario en su vida cotidiana, puede establecer conexión directa con satélites en órbita baja sin requerir modificaciones de hardware.

Este cambio no es producto de un solo avance, sino de la convergencia simultánea de tres transformaciones tecnológicas: la proliferación de constelaciones de satélites en órbita baja (LEO) que reducen radicalmente la latencia y las pérdidas de propagación; la incorporación de las Redes No Terrestres (NTN) dentro de los estándares 5G del 3GPP, lo que permite la interoperabilidad fluida entre el segmento espacial y las redes móviles terrestres; y el desarrollo de antenas de arreglo en fase (phased arrays) de alta ganancia capaces de dirigir haces precisos hacia dispositivos de baja potencia desde cientos de kilómetros de altitud.

El resultado es un ecosistema tecnológico y comercial radicalmente nuevo, en el que operadores satelitales y operadores móviles terrestres se articulan en alianzas estratégicas para extender la cobertura a zonas donde las redes terrestres nunca han llegado. Este numeral describe los fundamentos técnicos de esa transformación: la terminología que la define, los principios físicos que la hacen posible y el panorama de los principales actores que hoy están dando forma a este mercado.

### **2.5.1. Terminología: D2D, D2C o DC-MSS-IMT**

En el estudio técnico que hizo la universidad ICESI (universidad ICESI, 2025) acerca de la convivencia de los servicios D2D para la ANE, se encuentra una explicación detallada de cada uno de los términos que maneja esta tecnología con sus diferentes variantes.

El término *Direct to Device* (D2D) o *Direct to Cell* (DTC) se refiere a la capacidad de un satélite para comunicarse directamente con dispositivos de usuario final —como teléfonos inteligentes, dispositivos IoT o vehículos— sin necesidad de hardware especializado ni antenas parabólicas de gran tamaño. Esta tecnología representa un cambio radical respecto a los servicios satelitales tradicionales, que históricamente han requerido equipos dedicados y propietarios, limitando su adopción a nichos de mercado específicos. El término *Direct to Cell*, en particular, ganó amplia visibilidad a raíz de la iniciativa conjunta de SpaceX Starlink y T-Mobile (T-MOBILE, 2022), orientada a integrar esta capacidad directamente en teléfonos inteligentes convencionales sin modificaciones de hardware.

El término Redes No Terrestres (NTN, por sus siglas en inglés) constituye un concepto más amplio y estandarizado. Definido por el 3GPP (3GPP, 2023) en el marco de sus especificaciones técnicas para las tecnologías 5G NR, NTN es el paraguas que abarca cualquier red de comunicación que opere por encima de la superficie terrestre. Si bien las constelaciones de satélites son el componente central de las NTN, la definición incluye también otras plataformas de comunicación aérea, como las plataformas de gran altitud (HAPS, *High Altitude Platform Stations*) y los sistemas aéreos no tripulados (UAS, *Unmanned Aerial Systems*). La estandarización de las NTN busca crear un marco unificado que permita la interoperabilidad fluida entre redes terrestres y no terrestres, superando la fragmentación tecnológica que ha caracterizado históricamente al sector.

Finalmente, el término DC-MSS-IMT, acuñado en los grupos de estudio de la UIT, designa una de las principales variantes de las NTN. Se refiere a la capacidad de los satélites para utilizar bandas de frecuencia terrestres, asignadas a las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), con el fin de complementar la cobertura de las redes móviles terrestres. Este enfoque se distingue del modelo tradicional de Servicio Móvil por Satélite (MSS), el cual opera en bandas de frecuencia históricamente reservadas al uso satelital. La coexistencia de estos dos modelos —uso de espectro IMT o espectro MSS— constituye uno de los ejes centrales del debate actual regulatorio y técnico en la industria de las telecomunicaciones.

### **2.5.2. Principios técnicos de la conectividad Satelital Directa al Dispositivo**

Durante décadas, la comunicación satelital estuvo reservada, en la práctica, a actores con capacidad técnica y financiera para desplegar antenas parabólicas de gran apertura, módems propietarios de alto costo y contratos de servicio especializados. Esa barrera de entrada, si bien no ha desaparecido por completo, se encuentra en un proceso acelerado de reducción impulsado por la convergencia de tres factores tecnológicos: la proliferación de constelaciones satelitales en órbita baja terrestre (LEO, *Low Earth Orbit*), la incorporación de las redes no terrestres (NTN, *Non-Terrestrial Networks*) en los estándares 5G del 3GPP a partir del Release 16, (3GPP, 2022) y el desarrollo de antenas de arreglo de fase (*phased array*) de alta ganancia.

La materialización más visible de esta tendencia es el modelo de conectividad directa al dispositivo (*Direct-to-Device*, D2D), que busca eliminar la necesidad de equipos intermedios entre el satélite y el terminal del usuario. Sin embargo, el alcance de esta capacidad varía según el enfoque técnico adoptado. En el caso de AST SpaceMobile<sup>3</sup>, la solución está diseñada para establecer enlaces con

---

<sup>3</sup> La constelación de AST -BlueBird - opera en LEO con satélites de gran apertura de antena.

teléfonos inteligentes comerciales estándar —incluidos dispositivos 4G LTE ya existentes en el mercado— sin modificaciones de hardware en el terminal, (AST, 2026) aunque la cobertura continua y las velocidades de datos aún se encuentran en fase de despliegue y validación comercial.<sup>4</sup> En el caso de las conexiones basadas en el estándar NTN del 3GPP, el acceso directo exige terminales de última generación compatibles con las especificaciones del Release 17 en adelante.

El satélite actúa, en esencia, como una torre celular en el espacio: recibe y transmite señales LTE o 5G NR estándar, de la misma manera que una antena de telefonía en tierra, pero desde una órbita de entre 340 y 600 km de altitud (FCC, 2024).

La diferencia fundamental con los servicios satelitales tradicionales es que estos últimos requerían terminales VSAT con antenas direccionales de gran apertura para compensar las enormes pérdidas de propagación. Los sistemas D2D modernos resuelven este problema desde el lado del segmento espacial: desplegando satélites con antenas llamadas *phased arrays*, que concentran su energía en haces extremadamente estrechos y precisos dirigidos al dispositivo del usuario, compensando la baja ganancia del teléfono (3GPP, 2022) o mediante el despliegue de constelaciones masivas de satélites.

### **2.5.2.1. Antenas Phased Arrays y Beamforming**

El reto central de la tecnología D2D es físico: un satélite a 600 km de altitud debe comunicarse con un teléfono inteligente cuya antena tiene una ganancia cercana a 0 dBi. La señal recorre cientos de kilómetros en el espacio, sufre pérdidas de propagación en espacio libre bastante altas (más de 155 dB a frecuencias de 2 GHz), a lo que se debe agregar pérdidas adicionales por atmósfera, lluvia y ángulo de elevación. Para establecer la comunicación con un dispositivo de mano, el satélite debe compensar este déficit desde su lado, desplegando antenas con ganancia extremadamente alta y haces muy focalizados (universidad ICESI, 2025)

Las antenas de arreglo en fase (Phased Arrays, PAA) constituyen la tecnología habilitadora fundamental de la conectividad D2D. A diferencia de las antenas parabólicas convencionales, que requieren orientación mecánica hacia el satélite y presentan tiempos de respuesta del orden de segundos, una PAA está compuesta por cientos o miles de pequeños elementos radiantes. Mediante el ajuste electrónico del desfase entre estos elementos, el haz puede dirigirse y reconfigurarse en cuestión de milisegundos, sin necesidad de componentes mecánicos móviles (universidad ICESI, 2025), lo que permite el seguimiento continuo de satélites en órbita baja (LEO) que se desplazan a velocidades cercanas a 7,6 km/s.

Las ventajas de las PAA sobre las antenas reflectoras tradicionales documentadas en la literatura son:

- **Agilidad de apuntamiento:** el haz se redirige en milisegundos por control electrónico de fase, crucial para satélites LEO en movimiento rápido.
- **Control de lóbulos laterales:** mediante ajuste de amplitud y fase de los elementos se reducen las interferencias hacia otras celdas o sistemas.
- **Beamforming múltiple:** una sola PAA puede generar simultáneamente múltiples haces independientes, cada uno apuntando a usuarios distintos, maximizando la reutilización espectral.
- **Fiabilidad distribuida:** al no depender de un único amplificador central, la falla de algunos elementos degrada el sistema gradualmente sin interrumpirlo.

El beamforming es la técnica por la que la PAA forma un haz muy estrecho y dirigido —en lugar de irradiar en todas las direcciones— hacia el dispositivo específico. Físicamente, cuando todos los elementos emiten la misma señal con desfases calculados en función de la geometría, las ondas electromagnéticas se suman constructivamente en la dirección del usuario y se cancelan en otras direcciones. El resultado es una ganancia de antena muy superior a la de cualquier elemento individual.

El 3GPP define en el TR 38.821 los parámetros de referencia para la evaluación del beamforming en NTN. Para un satélite LEO a 600 km con antena de 2 m de apertura equivalente en la banda S ( $\sim 2$  GHz), se especifica una ganancia máxima de transmisión de 30 dBi, con un ancho de haz de media potencia (HPBW) de aproximadamente 4,4 grados —lo que equivale a una huella en tierra de entre 3 y 5 km de radio para cobertura celular desde esa altitud (3GPP, 2022).

- **AST SpaceMobile: la apuesta por la apertura máxima**

AST SpaceMobile ha llevado el concepto de PAA a una escala sin precedentes. Sus satélites BlueBird 1-5, lanzados en septiembre de 2024, despliegan en órbita una antena de 64 metros cuadrados, la mayor apertura comercial en LEO al momento de su lanzamiento. Su siguiente generación, el satélite BlueBird 6, lanzado en diciembre de 2025, despliega una antena de 223 metros cuadrados (AST, 2026), tres veces mayor que sus predecesores y la mayor apertura

comercial jamás desplegada en LEO. Esta apertura enorme es lo que permite al satélite recibir señales débiles de un smartphone y transmitir hacia él con suficiente potencia. El BlueBird 6 soporta velocidades pico de 120 Mbps por celda con 40 MHz de ancho de banda (AST, 2026), utilizando beamforming de alta precisión para crear haces estrechos que reducen interferencias y maximizan la capacidad.

- **Starlink Direct to Cell: la apuesta por la escala de constelación**

Starlink adopta un enfoque diferente: satélites más pequeños (basados en el bus v2 Mini) con antenas de *phased array* de menor apertura que los de AST SpaceMobile, pero desplegados en una constelación masiva. Los satélites D2C de Starlink tienen una ganancia máxima de antena de 38 dBi y un EIRP pico de 58 dBW (SPACE X, 2023). Operan en la banda PCS G (1,9 GHz) en EE.UU. mediante acuerdo con T-Mobile, usando el espectro LTE del operador terrestre para emitir desde el espacio como si fuera una celda de roaming. Los haces son independientemente dirigibles y se planifican con factores de reutilización de frecuencia para minimizar interferencias con las redes terrestres (SPACE X, 2023)

#### **2.5.2.2. Constelaciones de satélites**

El número de satélites requeridos para un sistema D2D/NTN está determinado principalmente por tres factores: (i) la cobertura geográfica a alcanzar, (ii) la capacidad de tráfico que debe proporcionar cada satélite y (iii) la continuidad del servicio, entendida como el tiempo durante el cual un punto de la superficie terrestre dispone de al menos un satélite visible con una elevación suficiente. Existe además un compromiso fundamental asociado a la altitud orbital: a mayor altura, cada satélite cubre un área más extensa, reduciendo el tamaño de la constelación necesaria, pero a costa de un incremento en la latencia; a menor altitud, se requiere un mayor número de satélites para garantizar cobertura continua, aunque se obtiene una latencia más baja y una señal de mayor potencia en el enlace.

El número de satélites dentro de una constelación está llegando a números que nunca antes se habían visto es así como la FCC autorizó en 2024 a SpaceX para una constelación Gen2 base de hasta **29.988** satélites en múltiples capas orbitales entre 340 y 614 km, y adicionalmente esta compañía solicitó en septiembre de 2025 autorización para **15.000 satélites adicionales** dedicados exclusivamente al servicio D2C de segunda generación (Gen3), con una capacidad proyectada de 1 Tbps de bajada y 160 Gbps de subida por satélite mediante antenas PAA de mayor apertura en bandas Ku/Ka/V/E.

**Tabla 1. sistemas de constelaciones satelitales**

Empresa / Sistema	Tecnología	Órbita	Satélites operativos (iniciales)	Meta de constelación	Estado (2025)
<b>Starlink D2C (SpaceX)</b>	LTE 4G / MSS	LEO ~550 km	~650	Hasta 15 000 DTC + 29 988 broadband	Servicio comercial EE.UU./NZ
<b>AST Space Mobile</b>	4G LTE / 5G NR	LEO ~450-700 km	6 (BlueBird 1-6)	45-60 (2026); cientos largo plazo	Pruebas comerciales con AT&T, Verizon
<b>Skylo</b>	NB-IoT (NB-NTN)	GEO ~36 000 km	Red existente GEO (Inmarsat, Ligado)	Extensión a LEO prevista	Servicio comercial EE.UU. y Canadá
<b>Sateliot</b>	NB-IoT / 5G NR IoT	LEO ~500 km	~10	~250 satélites para cobertura global	Pruebas; despliegue en curso
<b>Lynk Global</b>	LTE 4G	LEO ~500 km	Constelación inicial	≥10 para cobertura básica	Licencia FCC obtenida

**Fuente:** Starlink (2025); AST SpaceMobile (2026); Skylo (2024); Sateliot (2023); FCC (2022, 2024).

De otra parte, compañías como Skylo Technologies han adoptado una estrategia comercialmente diferente: conectar dispositivos NB-IoT a satélites geoestacionarios (GEO) ya existentes, como los de Viasat/Inmarsat y Ligado Networks. Un satélite GEO a 36.000 km cubre un tercio de la superficie terrestre con un solo satélite, lo que elimina el problema del paso (handover) entre satélites y simplifica la gestión de red. La contrapartida es mayor latencia (500-700 ms) y mayor pérdida de propagación (~189 dB), lo que limita el servicio a aplicaciones de baja tasa de datos (NB-IoT) (SKYLO, 2024): tracking de activos, sensores agrícolas, logística. Skylo usa espectro MSS licenciado globalmente, lo que evita posibles conflictos regulatorios con los operadores terrestres que enfrentan los sistemas que usan bandas IMT.

### 2.5.2.3. El efecto Doppler: el gran desafío técnico de los satélites LEO

Los satélites LEO se mueven a aproximadamente **7,6 km/s** a 500 km de altitud, lo que genera un desplazamiento Doppler significativo en la señal<sup>4</sup> —. A 2 GHz, este desplazamiento puede superar los **±24 kHz**, lo que en sistemas LTE/5G

<sup>4</sup> Es la misma razón por la cual el sonido de una ambulancia cambia de tono al acercarse y al alejarse del lugar donde nos encontramos.

NR, diseñados para canales de poco ancho de banda en el uplink<sup>5</sup>, puede causar errores graves de sincronización y decodificación.

El estándar 3GPP Release 17 aborda este desafío estableciendo la obligatoriedad de que todos los terminales NTN cuenten con capacidades de posicionamiento GNSS (GPS u otros sistemas globales de navegación por satélite). De este modo, el terminal conoce con precisión su ubicación geográfica y dispone de las efemérides del satélite —es decir, la información sobre su trayectoria orbital, transmitida por el propio satélite—, lo que le permite calcular de forma anticipada el desplazamiento Doppler esperado y precompensarlo antes de la transmisión. Este mecanismo se complementa con la precompensación del Timing Advance (TA), mediante el cual se ajusta con precisión el instante de transmisión del terminal para que la señal alcance al satélite en forma sincronizada (dentro del slot de tiempo correcto), compensando así el retardo de propagación variable inherente a los enlaces satelitales (3GPP, 2022).

### **2.5.3. Casos de uso**

#### **2.5.3.1. Comunicaciones de emergencia y seguridad pública**

La UIT-R ha identificado las comunicaciones de emergencia como uno de los casos de uso prioritarios para los sistemas no terrestres (NTN) como es el caso de D2D, dado que permiten mantener enlaces de voz y datos en situaciones de desastre donde la infraestructura terrestre ha sido destruida o sobrecargada. El 3GPP, en su estudio técnico sobre NTN (TR 22.822), identificó los servicios de seguridad pública y respuesta a desastres como casos de uso de referencia para el diseño de las especificaciones NTN desde el Release 16 (3GPP, 2018).

#### **2.5.3.2. Mensajería básica en zonas sin cobertura terrestre**

El caso de uso de mensajería unidireccional o bidireccional de baja tasa de datos en zonas rurales y remotas está documentado en el 3GPP como uno de los escenarios operativos fundamentales para NTN, bajo la categoría de servicios de cobertura ubicua (ubiquitous coverage) (3GPP, 2018).

---

<sup>5</sup> Nota técnica: Los estudios del Convenio 203 ANE/ICESI (2025) establecen que para lograr una mejora de beamforming distribuido superior a 3 dB en enjambres de satélites, el desplazamiento Doppler entre satélites del enjambre debe mantenerse por debajo de 146 kHz. Un error de fase de 200 kHz en un satélite puede incrementar significativamente la tasa de error de bits (BER) del sistema.

La FCC, en su Report and Order sobre SCS de 2024, describe expresamente el servicio de mensajes de texto (Short Message Service, SMS) y notificaciones como el primer nivel de servicio habilitado por las autorizaciones SCS otorgadas a operadores como SpaceX/T-Mobile. Apple, en su documentación técnica oficial, describe el servicio Emergency SOS via satellite disponible desde el iPhone 14, que permite enviar mensajes de emergencia y compartir ubicación vía satelital en ausencia de cobertura celular o Wi-Fi (Apple, 2024).

### **2.5.3.3. Conectividad de banda ancha en zonas sin cobertura – acceso completo a internet**

El 3GPP define en el TR 36.763 el caso de uso de banda ancha móvil mejorado (enhanced Mobile Broadband, eMBB) satelital como un escenario NTN orientado a proveer acceso a internet de alta velocidad en áreas rurales, remotas y en movilidad (aeronaves, embarcaciones).

AST SpaceMobile ofrece este tipo de conectividad con una solución diferente a la planteada en el estándar NTN con conectividad de voz, SMS y datos de banda ancha directamente a teléfonos móviles comerciales estándar sin hardware adicional en el terminal de usuario, utilizando el espectro licenciado por sus operadores terrestres asociados (AT&T y Verizon en los Estados Unidos) (SEC).

### **2.5.3.4. Internet de las Cosas (IoT) y aplicaciones de banda estrecha**

El 3GPP incorporó desde el Release 17 las especificaciones NTN para NB-IoT (Narrowband IoT) y eMTC (enhanced Machine Type Communication) (3GPP, 2018) como modalidades diferenciadas dentro del estándar NTN, orientadas específicamente a aplicaciones IoT de baja tasa de datos y bajo consumo energético, tales como monitoreo de infraestructura, agricultura de precisión, transporte y medición remota.

### 2.5.3.5. Conectividad en movilidad – aeronáutica y marítima

La conectividad en plataformas móviles como aeronaves, embarcaciones y vehículos está documentada como escenario de uso NTN del 3GPP (ESA, 2023), y su desarrollo normativo continúa en el Release 18, que incluye explícitamente aeronaves, embarcaciones y UAVs como plataformas objetivo para acceso satelital en bandas superiores a 10 GHz.

### 2.5.4. Benchmarking de Operadores y Actores.

Con base en el estudio elaborado por la Universidad ICESI, se observa que el ecosistema de la conectividad satelital (D2D) se configura como un mercado estructurado sobre alianzas estratégicas obligatorias entre dos tipos de actores complementarios. Por un lado, los Satellite Network Operators (SNO), que disponen de la infraestructura espacial, pero carecen de una base amplia de usuarios finales; y por otro, los Mobile Network Operators (MNO), que cuentan con los clientes masivos y el espectro terrestre, pero no poseen infraestructura orbital. En este contexto, el modelo de negocio predominante es una asociación B2B, en la cual el SNO opera como proveedor de conectividad o roaming satelital integrado a la red del MNO (universidad ICESI, 2025).

El estudio también identifica una tendencia geopolítica relevante: numerosos países y bloques regionales están invirtiendo en el desarrollo de constelaciones satelitales propias, motivados principalmente por consideraciones de soberanía tecnológica y resiliencia estratégica. En este sentido, China avanza simultáneamente en tres grandes proyectos —Guowang, Qianfan y Honghu-3—, con objetivos aproximados de 13.000, 15.000 y 10.000 satélites respectivamente. Por su parte, la Unión Europea impulsa la constelación IRIS, con cerca de 290 satélites, mientras que Taiwán planea el despliegue de una capacidad satelital híbrida, de carácter comercial y gubernamental.

#### 2.5.4.1. Proveedores de banda ancha fija y móvil

- **Starlink – SpaceX**

Starlink es la constelación LEO más grande del mundo y el líder indiscutido del mercado D2D. Su iniciativa **Direct to Cell** convierte cada satélite en una *torre celular en el espacio*: los satélites llevan a bordo un módem eNodeB que emula el comportamiento de una antena de telefonía 4G LTE, permitiendo que cualquier teléfono convencional se conecte sin hardware adicional (Starlink, 2025). El servicio, se viene desarrollando inicialmente en asocio con el operador T-Mobile en

Estados Unidos, comenzó con mensajería SMS en 2024 y tiene planes de expandirse a datos de banda ancha y voz.

Starlink ha anunciado su tercera generación de satélites (V3) que operarán a 350 km de altitud. De acuerdo con la solicitud presentada ante la FCC el 17 de septiembre de 2025, estos satélites operarán Cobertura Suplementaria desde el Espacio (SCS) en las bandas: 2000–2025 MHz, 2180–2200 MHz y el bloque G PCS (1910–1915 MHz y 1995–2000 MHz) dentro de Estados Unidos; y para operaciones internacionales propone el uso de la Banda L (1518–1559 MHz descendente), Banda L extendida (2483,5–2500 MHz descendente) y la Banda internacional 2 GHz (2170–2200 MHz descendente), a través de acuerdos con MNOs que utilizan espectro en el rango 1429–2690 MHz (FCC, 2025).

Un hecho de gran relevancia estratégica es que SpaceX anunció la compra de las licencias de espectro AWS-4 y del Bloque H (Banda S) de EchoStar por aproximadamente 17.000 millones de dólares (hasta 8.500 millones en efectivo y hasta 8.500 millones en acciones de SpaceX). Esta adquisición le otorga a SpaceX acceso a espectro licenciado adicional de gran importancia para el despliegue a escala global del servicio D2C, dinamizando tanto el mercado como el entorno regulatorio (universidad ICESI, 2025).

Sus principales alianzas con MNOs incluyen:

- **T-Mobile (EE. UU.):** Alianza más visible; servicio comercial activo en EE. UU. y Nueva Zelanda bajo la marca T-Satellite. Permite mensajería de emergencia, Google Messages y pruebas con WhatsApp y X.
- **Rogers (Canadá), One NZ (Nueva Zelanda), KDDI (Japón), Entel (Chile y Perú):** Operadores socios con acuerdos para expansión del servicio SCS a nivel global.

- **AST SpaceMobile**

AST SpaceMobile representa el enfoque tecnológico más ambicioso en el segmento de banda ancha: ofrecer conectividad 4G/5G real directamente a teléfonos inteligentes convencionales. A diferencia de Starlink, su estrategia no se basa en una constelación masiva de satélites pequeños, sino en pocos satélites con antenas de matriz en fase (phased array) de apertura enorme, las más grandes hasta ahora desplegadas en el espacio, diseñadas específicamente para superar el reto de comunicarse con dispositivos de baja potencia en tierra. Su modelo de negocio se basa *exclusivamente* en alianzas con MNOs.

Sus principales alianzas con MNOs incluyen:

- **AT&T (EE. UU.):** Inversor estratégico. Ha logrado la primera llamada de voz 4G, videollamada y llamada 5G nativa sobre espectro de AT&T con satélites BlueBird. Enfocada también en capacidades para primeros respondedores a través de la red FirstNet.
  - **Verizon (EE. UU.):** Socio con acuerdo de cobertura para zonas remotas de EE. UU.
  - **Vodafone (Europa e India):** Empresa conjunta SatCo para distribuir el servicio D2D en Europa; alianza adicional con Vodafone Idea en India para zonas no conectadas.
  - **Bell (Canadá):** Primera llamada VoLTE, videollamada y conectividad de banda ancha probadas exitosamente en octubre de 2024.
- **Lynk Global / Omnispace**

Lynk Global se ha especializado en **mensajería bidireccional de baja velocidad** a dispositivos móviles estándar mediante su tecnología *cell-tower-in-space* patentada. Ha demostrado su tecnología en los siete continentes y tiene contratos comerciales con más de 50 MNOs a nivel mundial. Su fusión con **Omnispace**, anunciada el 22 de octubre de 2025, fortalece sustancialmente su posición: Omnispace aporta 60 MHz de espectro en Banda S coordinado globalmente ante la UIT, licencias 3GPP NTN-compatibles y la mayor cobertura de acceso al mercado en Banda S, alcanzando a más de mil millones de personas en América, Europa, África y Asia (universidad ICESI, 2025)

Omnispace opera los satélites Spark 1 y Spark 2 en órbita MEO (10.500 km), de una constelación planeada de 200 unidades. Sus frecuencias de enlace están en la Banda S: 1985–2015 MHz (ascendente) y 2170–2200 MHz (descendente), banda N256 del 3GPP. El estudio señala una controversia activa entre Omnispace y SpaceX por el uso de frecuencias compartidas con los satélites ICO heredados (universidad ICESI, 2025)

#### **2.5.4.2. Iridium y Globalstar: los pioneros históricos**

Tanto Iridium como Globalstar representan la primera generación de constelaciones LEO, hoy en proceso de renovación y ampliación de servicios.

- **Iridium**

Opera la única constelación LEO con cobertura verdaderamente global, incluidos los polos, gracias a sus 80 satélites operativos (66 originales + satélites de reserva) a 780 km de altitud con enlaces intersatelitales que minimizan la latencia. Inició operaciones en 1998, renovó toda su constelación en 2019 y es el líder en suscriptores de IoT satelital, superando los 2 millones de usuarios en 2024. Su estándar principal es Short Burst Data (SBD), un servicio bidireccional robusto que soporta hasta 1.960 bytes por mensaje, ideal para telemetría frecuente en aplicaciones de misión crítica. Opera en Banda L.

- **Globalstar**

Fundada en 1991, lanzó sus primeros satélites en 1998 e inició operaciones comerciales en 2000 con 48 satélites. Tras reorganizarse después de una quiebra en 2002, actualmente opera en configuración Walker-24 (8 planos × 3 satélites) a 1.414 km de altitud y prepara su expansión a Walker-32 a finales de 2025. Opera en la banda N53 (2473–2495 MHz). Es ampliamente conocida por su asociación con Apple para la mensajería de emergencia del iPhone, y reportó 510.000 suscriptores al cierre de 2024. Su servicio Simplex (unidireccional) es referente en eficiencia energética, con consumo en reposo de apenas 30  $\mu$ W, ideal para dispositivos IoT de larga duración.

### 2.5.4.3. Otros actores del segmento de datos fijos y móviles

El estudio de ICESI también documenta otros actores relevantes del ecosistema:

- **Amazon Leo: Iniciativa de Amazon para banda ancha global incluye** inicialmente 3.232 satélites LEO. Lanzó los primeros 27 satélites de producción en abril de 2025. El 14 de abril de 2026, Amazon.com, Inc. y Globalstar, Inc. anunciaron un acuerdo definitivo de fusión mediante el cual Amazon adquirirá Globalstar, lo que permitirá a Amazon Leo añadir servicios de conexión directa al dispositivo (D2D) a su red de satélites en órbita baja terrestre (LEO) y extender cobertura celular a clientes más allá del alcance de las redes terrestres (Amazon, 2026)
- **OneWeb (Eutelsat):** 648 satélites LEO a 1.200 km en configuración Walker-Star (12 planos orbitales, inclinación 87°), con cobertura especial en latitudes altas. La fusión entre el operador GEO Eutelsat y LEO OneWeb creó una entidad multi-órbita con estrategia integrada.

- **Telesat Lightspeed:** Constelación de 198 satélites LEO orientada a empresas e ISPs bajo modelo de red neutra en capa 2.
- **MediaTek:** Fabricante de chips que impulsa la estandarización NTN desarrollando chipsets compatibles con 3GPP, facilitando la integración satelital en dispositivos de consumo masivo.

#### 2.5.4.4. Proveedores de servicios IoT satelital

- **Sateliot**

Sateliot está revolucionando el segmento IoT satelital al implementar la tecnología 5G NB-IoT desde el espacio mediante satélites LEO (~500 km). Su modelo se basa en extender la cobertura de los MNOs: sus satélites se integran directamente con las redes terrestres existentes usando el estándar 3GPP Release 17 (LPWAN 5G IoT), permitiendo que los dispositivos IoT celulares se conecten al satélite con la misma SIM que usan en tierra. Su objetivo es eliminar los costos históricamente prohibitivos del IoT satelital y ofrece cobertura para casos de uso como agricultura, logística y monitoreo de infraestructura. Su constelación planificada es de aproximadamente 250 satélites (sateliot., 2023).

- **Skylo**

Skylo es un proveedor global de servicio NTN de banda estrecha (NB-NTN) que conecta smartphones, wearables y dispositivos IoT directamente a satélites geoestacionarios (GEO) existentes —incluyendo los de Viasat/Inmarsat y Ligado— sin necesidad de antenas especiales. Su servicio cubre cinco continentes y en enero de 2024 lanzó comercialmente en EE. UU. y Canadá. Es la primera solución NTN nativa en Android 15 y tiene chipsets certificados de Qualcomm, Samsung y MediaTek. El modelo GEO le permite ofrecer cobertura continua y sin handover, con latencias de 5–10 segundos, adecuadas para transmisión de datos críticos no en tiempo real (SKYLO, 2024).

#### 2.5.4.5. Otros actores IoT

- **Myriota:** Proveedor LPWAN satelital con servicios UltraLite (bajo costo y baja potencia) e HyperPulse (5G NTN de alta velocidad basado en 3GPP). Alianza con Spire Global para usar sus satélites LEO.

- **Kineis:** Opera 25 nanosatélites LEO para localización precisa y conectividad 24/7, con foco en seguimiento de infraestructura (líneas de alta tensión), logística de contenedores y sector marítimo.
- **ORBCOMM:** Estrategia dual: opera su propia red y revende capacidad de terceros (principalmente Viasat/Inmarsat). Sus terminales ST 9100 dual-mode (satélite/celular) permiten visibilidad y control de activos con fallback automático. Su diseño de red OGx reduce el consumo energético del terminal, permitiendo baterías y paneles solares más pequeños.

## 2.6. Estudios de convivencia DC-MSS-IMT adelantados en Colombia

El mencionado estudio de ICESI se estructura en dos componentes principales: En primer lugar, se presentan simulaciones de Monte Carlo bajo diversos escenarios de interferencia; en segundo lugar, se incluyen resultados de mediciones experimentales, utilizando equipos de radio definido por software (USRP) en una cámara anecoica.

### 2.6.1. Simulaciones de Monte Carlo

Los escenarios consideran un sistema satelital operando a diferentes altitudes 340, 600 y 1.200 km, interfiriendo a los sistemas IMT terrestres en condiciones de co-canal.

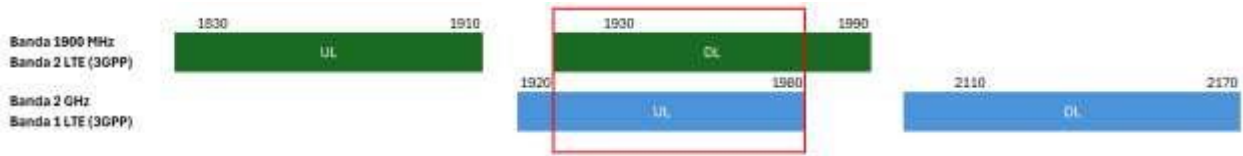
Los parámetros de simulación fueron definidos con base en recomendaciones de la UIT y especificaciones de 3GPP, así como de estudios previos desarrollados en los grupos de trabajo de la UIT, asegurando consistencia metodológica y comparabilidad de resultados.

Los escenarios relevantes para el estudio fueron:

- **Primero:** El satélite interfiriendo a los equipos de usuario IMT terrestres en enlace descendente (descendente-descendente).
- **Segundo:** Los equipos de usuario conectados al sistema DC-MSS-IMT interfiriendo a las estaciones base IMT terrestres en enlace ascendente (ascendente-ascendente).
- **Tercero:** un escenario de frontera, donde los equipos de usuario DC-MSS-IMT interfieren con equipos de usuario terrestres (enlace ascendente-enlace descendente), en las bandas cruzadas  $n_1$  y  $n_2$ . Este escenario se

plantea debido al uso simultáneo de emisiones en sentidos Downlink y Uplink en las bandas mencionadas como se muestra en la figura siguiente.

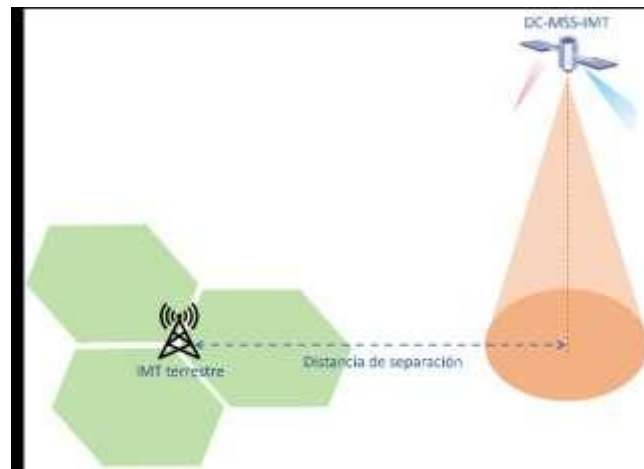
**Figura 8 . Escenario de frontera downlink - uplink**



**Fuente:** Elaboración propia

En el escenario 1 descendente–descendente, los resultados muestran que se requieren distancias de protección de 32, 35 y 70 km, dependiendo de la altitud del satélite, para que los equipos de usuario IMT terrestres puedan operar de manera aceptable en condiciones de co-canal, manteniendo niveles de interferencia dentro de los umbrales admisibles.

**Figura 9 Distancia de separación entre la huella del sistema DC-MSS-IMT y la red IMT terrestre.**



**Fuente:** Elaboración propia.

Adicionalmente se evaluó un escenario alternativo (1a) en el cual el satélite se encuentra directamente sobre la celda de referencia y se varía su potencia de transmisión. Los resultados evidencian que la reducción de la potencia satelital, en función de la altitud, permite habilitar condiciones de coexistencia incluso en escenarios co-localizados, manteniendo activo el servicio DC-MSS-IMT.

Para el escenario 2 (ascendente-ascendente) los resultados evidencian que teóricamente al establecerse una distancia de protección de 16, 12 u 8 km (con

factores de efectividad 100%, 75% y 50% respectivamente) entre los sistemas IMT terrestres y la huella de cobertura del sistema satelital DC-MSS-IMT, es posible que los terminales de usuario IMT DC-MSS-IMT no afecten significativamente en cocanal las radiobases IMT terrestres y puedan operar estas últimas de forma admisible con bajas afectaciones por interferencias.

En el escenario 3 (ascendente–enlace descendente) con una distancia de separación nula, coubicados, es necesario que el factor de actividad<sup>6</sup> del sistema sea del 25% para que los equipos de usuario DC-MSS-IMT no generen interferencias perjudiciales a los equipos de usuario del sistema terrestre. Ahora bien, si la distancia de separación es de 12 kilómetros o más, dicho factor de actividad puede llegar a ser 100% sin que se generen afectaciones apreciables.

### **2.6.2. Pruebas en cámara anecoica**

Con el fin de validar resultados de simulación, se implementó un banco de pruebas en laboratorio utilizando USRP junto con plataformas de código abierto, para emular una red IMT terrestre y un sistema satelital interferente.

Se realizaron pruebas tanto en escenarios de co-canal como en canal adyacente, variando niveles de potencia de transmisión y condiciones de operación. La evaluación del desempeño se llevó a cabo mediante herramientas de medición de tráfico y calidad de servicio.

Los resultados experimentales muestran que, en condiciones de co-canal y co-ubicación, se presenta una degradación significativa del desempeño, evidenciada en reducciones sustanciales de la tasa de datos y variaciones en indicadores como SNR y BLER.

En contraste, en escenarios de canal adyacente, la degradación es mínima, incluso bajo niveles elevados de señal interferente, lo cual confirma la robustez de este tipo de operación.

### **2.6.3. Conclusiones de los estudios de convivencia**

---

<sup>6</sup> **Factor de actividad (Activity Factor):** relación entre el tiempo durante el cual un transmisor, estación o sistema permanece activo y transmitiendo respecto al tiempo total de observación, normalmente expresada como porcentaje. En estudios de compatibilidad radioeléctrica, este parámetro representa la fracción temporal de dispositivos o estaciones simultáneamente activas y se emplea para estimar el nivel de interferencia agregada. (Recommendation ITU-T P.10/G.100 (2017) Amd. 2 (05/2024); Report ITU-R M.2513-0; Report ITU-R M.2030; ETSI EN 302 372).

Basado en los estudios de coexistencia realizados entre redes satelitales DC-MSS-IMT y sistemas IMT terrestres, se plantean las siguientes conclusiones:

- **Viabilidad operativa en canales adyacentes:** El estudio identificó que la operación en canal adyacente es viable, incluso en situaciones donde el haz del satélite incide de manera directa sobre el sistema terrestre. Debido a esto, el análisis técnico se centró en los escenarios de interferencia co-canal, que plantean mayores desafíos.
- **Relación entre altura orbital y distancias de protección:** Los resultados muestran que las interferencias y las pérdidas en el sistema están intrínsecamente ligadas a la altura del satélite y al diámetro de su huella. Por ejemplo, para un satélite a 340 km de altura (huella de ~25 km), las pérdidas en la celda central terrestre disminuyen significativamente (del 86.3% al 9.08%) a medida que la distancia de separación respecto a la ubicación del satélite aumenta hasta los 32 km. Este resultado es consistente entre las diferentes alturas de los sistemas estudiados, con la particularidad de que estas distancias de protección aumentan en la medida en que la altura del satélite aumenta.
- **Eficacia del control de potencia y factores de actividad:** En los escenarios donde los equipos de usuario satelitales interfieren con las estaciones base terrestres (uplink-uplink), se observó que el control de potencia y la reducción del factor de actividad del terminal de usuario mitigan considerablemente el impacto. Mientras que en el peor de los casos (potencia máxima) las pérdidas pueden ser críticas, un factor de actividad del 50% reduce las pérdidas en la celda central a niveles mucho más bajos (aprox. 8.58% a 11.27%).
- **Validación de estrategias para zonas de frontera:** Los resultados indican que la opción de reducir la potencia del sistema satelital DC-MSS-IMT en zonas de frontera es una opción viable para evitar interferencias perjudiciales con sistemas IMT terrestres. Se determinó que las distancias de protección necesarias para garantizar una coexistencia armónica en co-canal coinciden con las dimensiones de las huellas del satélite según su altura orbital.

Los resultados observados durante las mediciones indican la imposibilidad de coexistencia en co-canal y co-ubicados, puesto que aún con los mismos niveles de potencia, el terminal móvil intenta conectar a una celda y otra. Y aunque se forzó a conectar a la señal útil, la degradación del rendimiento es notoria. Los resultados muestran también el efecto de la señal interferente sobre la red. Esto validó los resultados de simulación en las que el equipo de usuario DC-MSS-IMT interfiere a la estación base IMT terrestre. Operando en canal adyacente, la

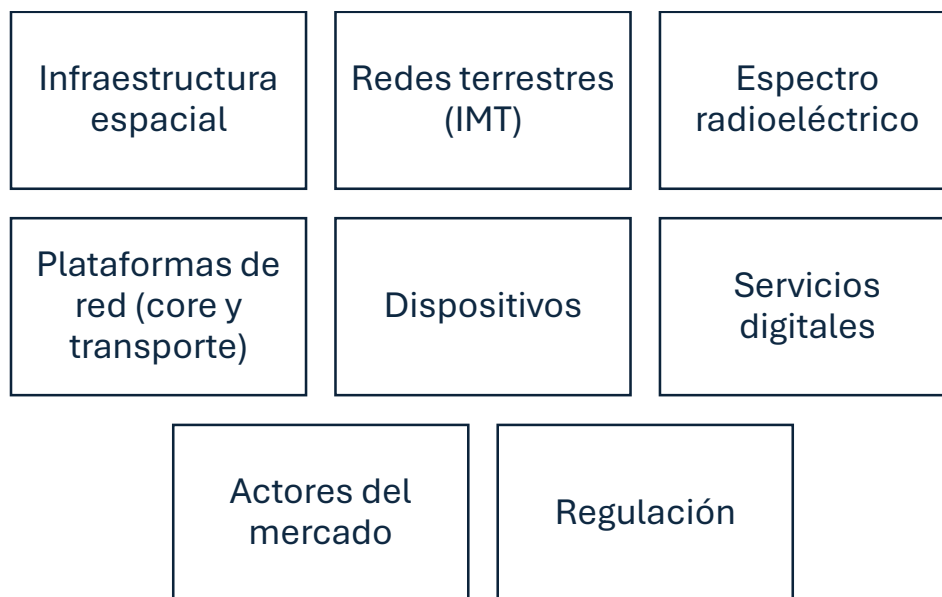
degradación es casi imperceptible, aún con niveles de señal altos del interferente, lo que permitiría operar de esta forma sin restricción alguna.

El estudio utilizó valores estandarizados de potencia, ganancia de antena y modelos de propagación de acuerdo con recomendaciones UIT y documentos 3GPP. No obstante, es importante señalar que estos parámetros y supuestos de despliegue representan condiciones de referencia que pueden diferir de la realidad operativa en países con características geográficas particulares. En el caso de Colombia, cuya topografía se caracteriza por tres cordilleras andinas, valles interandinos, regiones selváticas y de frontera, el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones enfrenta retos significativos que inciden en las condiciones de propagación, las alturas efectivas de las antenas respecto al terreno circundante, los radios de cobertura requeridos y la geometría de interferencia entre servicios. Por consiguiente, las distancias de protección derivadas de los estudios deben interpretarse como valores de referencia obtenidos bajo condiciones modeladas, y podrían variar cuando se consideren las condiciones topográficas y de despliegue específicas.

## 2.7. Cadena de valor

La introducción de D2D obliga a ampliar la mirada y entender la conectividad como un ecosistema donde interactúan múltiples capas:

**Figura 10 Estructura de la cadena de valor del ecosistema D2D**



**Fuente:** Elaboración propia.

En este contexto, la cadena de valor deja de ser lineal y se convierte en un sistema interdependiente, donde cada eslabón condiciona el funcionamiento del conjunto, como se ilustra en la Figura siguiente.

A partir de este punto, la cadena de valor puede entenderse como un flujo continuo que se origina en el segmento espacial y culmina en el mercado final (3GPP, 2022). En este recorrido, se destaca el acceso como el punto crítico de convergencia, donde las redes IMT y los sistemas D2D coexisten funcionalmente. A su vez, resalta el papel transversal de la regulación como el elemento que define las condiciones técnicas y operativas que hacen posible dicha coexistencia (NovaSpace, 2025).

**Figura 11 Cadena de valor del ecosistema D2D y punto de convergencia entre redes IMT y satelitales.**



Fuente: Elaboración propia.

### 2.7.1. Infraestructura Espacial

Siguiendo el flujo presentado, el primer eslabón de la cadena se encuentra en el segmento espacial, donde las constelaciones de satélites en órbita baja (LEO), apoyadas en tecnologías como beamforming, permiten generar cobertura sobre amplias áreas del territorio, incluyendo su operación en Colombia por actores como Starlink, OneWeb, SES y Eutelsat, bajo habilitación del Ministerio TIC. Los fundamentos técnicos de este segmento —incluyendo antenas phased array, beamforming, constelaciones y efecto Doppler— se describen en detalle en el numeral 2.2 (Contexto tecnológico).

A diferencia de los modelos tradicionales, estos satélites no operan únicamente como enlaces de transporte, sino que empiezan a cumplir funciones propias de

la red de acceso. En otras palabras, el satélite deja de ser un intermediario y se convierte en un punto de conexión directa con el usuario. Este cambio no solo redefine el punto de inicio de la red, sino que condiciona directamente el siguiente eslabón de la cadena que es el uso del espectro radioeléctrico. (OECD, 2017).

Desglosando este componente de la cadena de valor, se distinguen los proveedores de tecnología y componentes, los fabricantes de satélites y los proveedores de chipsets, con actores como Qualcomm, MediaTek y Apple. Los operadores de infraestructura espacial LEO, y los llamados operadores MSS Legacy, que poseen espectro MSS global coordinado ante la UIT, teniendo con esto un avance en el aspecto regulatorio, frente a los operadores que buscan operar en las frecuencias actualmente atribuidas al servicio móvil terrestre y asignadas a operadores IMT.

Ahora bien, desglosando estos componentes de la infraestructura espacial tanto para redes D2D como redes satelitales tradicionales, la siguiente imagen<sup>7</sup> identifica los distintos elementos de la cadena de valor de negocio del sector satelital, junto con los ingresos globales obtenidos por cada uno de ellos en 2024<sup>8</sup>:

- fabricantes de satélites,
- lanzadores,
- equipamiento del segmento terreno,
- servicios satelitales,

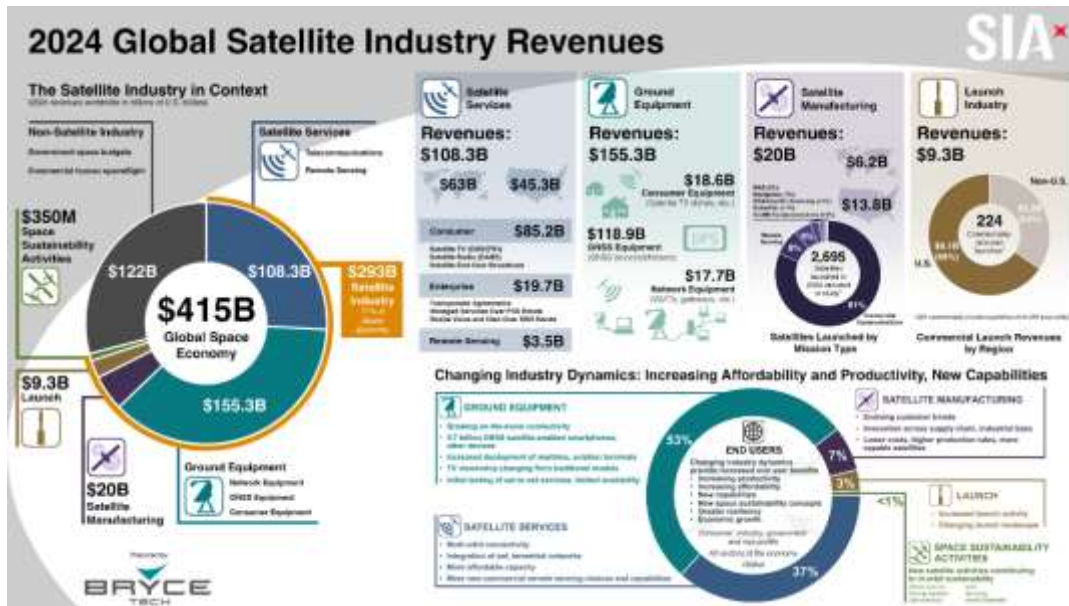
Los mayores beneficios se encuentran en la prestación de servicios satelitales tanto a las empresas (alquiler transpondedores, servicios gestionados en el Servicio Fijo por Satélite, comunicaciones móviles de voz y datos en el Servicio Móvil por Satélite), como a los usuarios finales (Televisión, radio, conectividad banda ancha), tal como se puede ver en la siguiente figura.

---

<sup>7</sup> Fuente: SIA: Satellite Industry Association

<sup>8</sup> Fuente: <https://sia.org/news-resources/state-of-the-satellite-industry-report/>. Reporte más reciente para 2024

**Figura 12. Cadena de valor industria espacial**



**Fuente:** (Association Satellite Industry, 2024).

Además de los grandes elementos de la cadena de valor de negocio, puede profundizarse en la cadena de valor relacionada con el modelo de explotación, que identifica a cada uno de los elementos y entidades involucradas en la prestación del servicio.

En ella se distinguen las siguientes entidades:

ENTIDAD	RESPONSABILIDADES
<b>OPERADOR DEL SATÉLITE</b>	Monitorización y control de los satélites Mantenimiento preventivo y correctivo Gestión de los recursos: transpondedores, capacidad, etc. de cara a cumplir con los compromisos globales de la entidad Planificación de las operaciones Seguridad operacional
<b>PROVEEDOR DEL SERVICIO SATELITAL EN COLOMBIA</b>	Asegurar el despliegue de la infraestructura satelital y su operación. Asegurar el despliegue de terminales satelitales. Asegurar la disponibilidad de Pasarelas (Gateways), incluido el despliegue de estaciones ubicadas en los países en estudio cuando así lo soliciten los gobiernos.

## 2.7.2. Redes Terrestres (IMT)

Como lo indica GSMA, el 58 % de la población mundial está conectada a banda ancha móvil, por lo que D2D complementaría los servicios en zonas sin conectividad, como desiertos, océanos, montañas o parques nacionales. También puede ayudar a conectar a zonas fuera de cobertura<sup>9</sup>.

En la arquitectura D2D, las redes IMT no son entidades aisladas, sino que representan el anclaje operativo de la conectividad espacial, siendo el principal punto de gestión con los usuarios, quienes deben percibir un servicio transparente, independiente de si su señal proviene de una torre del servicio terrestre o de un satélite. La conectividad D2D que opera en bandas de espectro móvil proporciona un servicio complementario a las redes terrestres y permite a los operadores móviles extender la cobertura bajo acuerdos comerciales de colaboración con operadores satelitales<sup>10</sup>.

En este punto de la cadena es fundamental la coexistencia armónica de los dos servicios, garantizar la no interferencia entre los dos sistemas, ni de estos sobre otros servicios radioeléctricos.

Igualmente se debe analizar la coordinación de Handovers, ya que, en redes terrestres, el usuario se mueve entre celdas fijas, mientras que en D2D el usuario se percibe como estático para las celdas satelitales. Por otro lado, la red terrestre debe gestionar el traspaso de la conexión entre haces de un mismo satélite, entre diferentes satélites, o entre una satélite y las estaciones fijas, sin que la sesión de datos o la llamada se caiga.

## 2.7.3. Espectro Radioeléctrico

Históricamente, este recurso ha sido gestionado de manera separada para servicios terrestres y satelitales. No obstante, con el desarrollo de soluciones D2D, surge la posibilidad de utilizar bandas IMT para servicios satelitales, configurando un nuevo escenario en el que dos sistemas distintos operan sobre un mismo recurso (NovaSpace, 2025) .

En este contexto, el espectro radioeléctrico, gestionado en Colombia por la Agencia Nacional del Espectro (ANE) y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), actúa como el elemento de

---

<sup>9</sup> Conectividad satelital directa a dispositivos (D2D). Disponible en: <https://www.gsma.com/about-us/regions/latin-america/es/d2d-posicion-industria/>

<sup>10</sup> Conectividad satelital directa a dispositivos (D2D). Disponible en: <https://www.gsma.com/about-us/regions/latin-america/es/d2d-posicion-industria/>

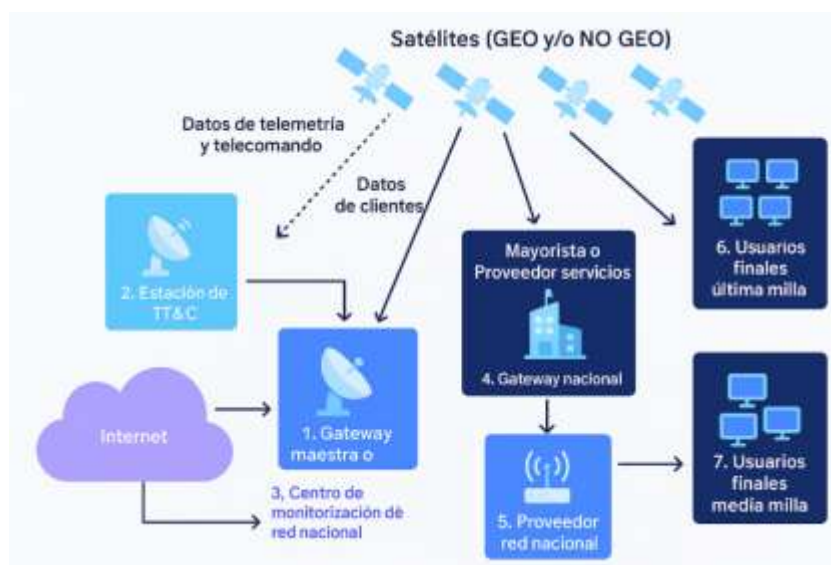
transición entre las capas espaciales y terrestres, en la medida en que permite la propagación de la señal desde el segmento satelital hacia los sistemas de acceso en tierra.

En este punto de la cadena se encuentran las bandas atribuidas a los servicios MSS (Servicio Móvil por Satélite), bandas armonizadas globalmente como la Banda L (1-2 GHz) y Banda S (2-4 GHz); y aparecen las bandas del espectro actualmente utilizadas para servicios móviles terrestres IMT, donde el objetivo es que se permita usar estas frecuencias, que ya están integradas en los dispositivos móviles, como los teléfonos, garantizando la no afectación o interferencia a dichos servicios.

#### 2.7.4. Plataformas de Red (Core y Transporte)

Tradicionalmente, el acceso estaba definido por estaciones base terrestres. Con la introducción de D2D, este esquema se transforma: el dispositivo puede conectarse a la red terrestre o directamente a un satélite, dependiendo de la disponibilidad de cobertura. En el contexto colombiano, este modelo se implementaría a través de operadores móviles, como por ejemplo aquellos que cuentan actualmente con los permios de uso del espectro IMT, en articulación con operadores satelitales de órbita baja y geostacionaria, que estén interesados en prestar el servicio en el país, conf gurarían esquemas de acceso híbrido que integran redes IMT y sistemas no terrestres.

**Figura 13 Flujo operativo del modelo híbrido satelital-terrestre en esquemas D2D.**



Fuente: (Unión Europea, 2025).

Este modelo, conocido como Cobertura Suplementaria desde el Espacio (SCS), no sustituye la red existente, sino que la complementa y extiende. Bajo este enfoque, el acceso se consolida como el punto crítico de convergencia tecnológica, donde se materializa el desafío de coexistencia entre sistemas, condicionando el desempeño del resto de la cadena de valor. Esta integración entre el segmento satelital y las redes terrestres puede entenderse como un flujo continuo de datos entre distintos actores del sistema, tal como se ilustra en la Figura 3.

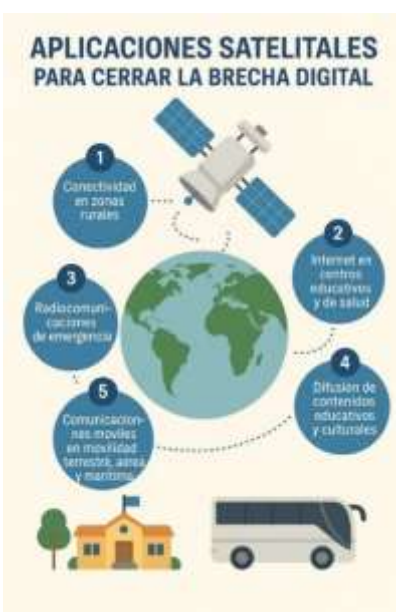
Este punto de convergencia en el acceso no solo define cómo se establece la conexión, sino también cómo fluye la información dentro del sistema. A partir de allí, la cadena continúa hacia las capas que garantizan la continuidad del servicio: el transporte y el núcleo de red, donde el tráfico es gestionado de manera integrada, sin distinción entre su origen terrestre o satelital.

En este contexto, los desarrollos del 3GPP en redes NTN han hecho posible la incorporación del segmento satelital dentro de arquitecturas 5G, con la participación de proveedores tecnológicos como Ericsson, Nokia y Huawei, permitiendo que el tráfico sea gestionado de manera unificada. En consecuencia, la red deja de operar como sistemas separados y pasa a consolidarse como una arquitectura integrada, como se ilustra en la Figura 12, habilitando la transición hacia las capas donde finalmente se genera valor para el usuario.

### **2.7.5. Servicios Digitales**

A medida que el tráfico avanza en la cadena, alcanza la capa donde finalmente se materializa el valor: los servicios. En su estado actual, D2D se enfoca principalmente como ya se mencionó, en aplicaciones como la mensajería, los servicios de emergencia y el Internet de las cosas (IoT) en zonas remotas. Esto evidencia que D2D no compite con las redes IMT en capacidad, sino que cumpliría un rol complementario orientado a cerrar brechas de cobertura, como se observa en la Figura 13, especialmente en articulación con entidades como el MinTIC, el Ministerio de Salud, el Ministerio de Educación y la UNGRD en Colombia, entre otras.

**Figura 14 Aplicaciones satelitales como mecanismo de generación de valor para el cierre de la brecha digital.**



**Fuente:** (Unión Europea, 2025).

Estas entidades se destacan porque corresponden a sectores en los que la conectividad constituye un habilitador directo de servicios esenciales, es decir, su ausencia impide la prestación misma del servicio, como ocurre en salud, educación o atención de emergencias. En contraste, en otros sectores —como el catastro, el ambiente o el trabajo— la conectividad cumple un rol principalmente complementario, en la medida en que mejora la eficiencia y el alcance de los servicios, pero no determina su existencia.

### **2.7.6. Dispositivos**

La materialización efectiva de estos servicios no depende únicamente de la disponibilidad de red, sino de un elemento crítico: las capacidades del dispositivo. En este sentido, el usuario deja de ser un receptor pasivo y pasa a convertirse en un factor que define los límites operativos del sistema (Katz & Callorda, 2018) (Koutroumpis, 2009).

En el modelo D2D, el uso de dispositivos convencionales —como los smartphones— representa una ventaja en términos de adopción, pero introduce restricciones técnicas relevantes. Estos equipos no están diseñados para comunicarse directamente con satélites, lo que implica limitaciones en potencia de transmisión, características de antena y eficiencia del enlace.

Como resultado, dichas restricciones no solo afectan el desempeño del sistema, sino que también se convierten en un elemento determinante en los análisis de coexistencia entre redes. Así mismo, condicionan la forma en que el modelo puede escalar en el mercado, particularmente en contextos rurales colombianos, donde las condiciones de uso y cobertura son más exigentes.

### **2.7.7. Actores del Mercado**

Bajo estas condiciones técnicas y operativas, el modelo de mercado asociado a D2D adopta una lógica distinta a la tradicional. En lugar de esquemas basados en competencia directa, emerge un modelo de colaboración en el que los operadores móviles (MNO) y los operadores satelitales (SNO) articulan sus capacidades para ofrecer servicios de conectividad híbrida.

Esta transformación redefine la cadena de valor, dado que ya no se trata de una industria segmentada, sino de un ecosistema interdependiente, como se presenta en la Figura 12. En este nuevo esquema, los distintos actores no compiten por eslabones aislados, sino que coexisten y colaboran dentro de una arquitectura común, donde el acceso, el espectro y la infraestructura operan de manera integrada.

### **2.7.8. Regulación**

La viabilidad del ecosistema depende de la regulación como elemento transversal que articula y condiciona cada uno de sus eslabones, definiendo las reglas de interacción entre sistemas. Desde los lineamientos internacionales de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en el marco de la CMR-27, pasando por los estándares del 3rd Generation Partnership Project (3GPP), hasta las decisiones de autoridades nacionales como la ANE y el Ministerio TIC en Colombia, las definiciones sobre espectro, estándares y coexistencia determinan la sostenibilidad del modelo.

El análisis integral de la cadena de valor del ecosistema D2D evidencia que no se trata de una innovación incremental, sino de una transformación estructural del modelo de conectividad. En este nuevo escenario, el espacio se integra como parte de la red, el espectro se consolida como un recurso compartido crítico, el acceso se redefine como punto de convergencia y la regulación se posiciona como el elemento que determina las condiciones de equilibrio.

En consecuencia, la coexistencia entre IMT y el Servicio Móvil por Satélite (SMS) trasciende el ámbito técnico y se configura como el eje estructural que definirá la evolución del sector (Röller & Waverman, 2001) (Katz & Pantelis, 2012).

En este escenario, la tecnología D2D no solo representa una innovación técnica, sino un cambio en la lógica de provisión de servicios de conectividad. Su

implementación implica la coexistencia de redes terrestres y no terrestres sobre un mismo recurso escaso, lo que desafía los esquemas tradicionales de asignación y uso del espectro. En particular, introduce la necesidad de definir nuevas reglas de interacción entre actores, así como mecanismos que permitan habilitar el uso flexible del espectro. A continuación, se presenta la forma en que algunos países han enfrentado este reto.

La coexistencia entre IMT y sistemas satelitales trasciende el ámbito técnico y se configura como el eje regulatorio estructural del ecosistema D2D. El análisis que sigue examina cómo seis jurisdicciones han habilitado esta coexistencia mediante mecanismos regulatorios concretos, cuyos elementos comunes permiten identificar los referentes de política aplicables al caso colombiano.

### 3. DESARROLLOS REGULATORIOS A NIVEL INTERNACIONAL

El análisis comparado evidencia una convergencia internacional hacia un modelo regulatorio flexible, basado en el uso compartido del espectro IMT y en acuerdos comerciales entre operadores móviles y satelitales.

En conjunto, los países analizados han adoptado un enfoque pragmático que prioriza la extensión de cobertura, la resiliencia de las redes y la innovación tecnológica, estableciendo condiciones técnicas estrictas y ya existentes aplicables a los sistemas terrestres para garantizar la coexistencia con otros usos y usuarios del espectro.

En este capítulo se revisan en detalle las siguientes experiencias internacionales:

País / regulador	Año	Regulación o Guía
Estados Unidos / FCC	2024	<i>Supplemental Coverage from Space</i>
Australia / ACMA	2023	<i>Guide on Satellite direct-to-mobile services (D2M)</i>
Canada / ISED	2025	<i>Supplemental Mobile Coverage by Satellite</i>
Chile / Subtel	2025	<i>Servicio Direct-to-Device (D2D)</i>
Reino Unido / Ofcom	2025	<i>Direct to Device services in Mobile spectrum bands</i>

## **3.1. Estados Unidos**

### **3.1.1. Objetivo de la Regulación**

La Comisión Federal de Comunicaciones de los Estados Unidos (FCC), mediante su Orden de Cobertura Suplementaria desde el Espacio (SCS) (FCC, 2024), estableció un marco regulatorio para permitir que los sistemas satelitales complementen las redes móviles terrestres extendiendo la cobertura directamente a los dispositivos de los usuarios en áreas donde la infraestructura terrestre no está disponible o es insuficiente. La Comisión enmarcó esta iniciativa como parte de una transición más amplia hacia un "futuro de red única", en el cual los sistemas terrestres y satelitales operan de manera integrada para proporcionar conectividad ubicua (FCC, 2024).

La Orden enfatiza que el SCS tiene como objetivo ampliar el acceso a los servicios de comunicaciones, particularmente en áreas remotas, desatendidas y afectadas por desastres donde las redes móviles tradicionales pueden no estar disponibles. Así mismo, destaca la importancia de apoyar las comunicaciones de seguridad pública, incluyendo el acceso a servicios de emergencia y alertas críticas (FCC, 2024).

Adicionalmente, la FCC buscó promover la innovación y un uso más eficiente del espectro al permitir que los operadores satelitales accedan al espectro móvil terrestre mediante acuerdos de cooperación con operadores de redes móviles (MNOs), en lugar de crear nuevas asignaciones de espectro (FCC, 2024).

La Orden SCS representa una evolución significativa en la política de espectro al reducir la separación tradicional entre los servicios terrestres y satelitales. En lugar de crear una nueva categoría de servicio, la FCC adaptó los marcos existentes, en particular, las asignaciones de espectro móvil terrestre y las reglas de licenciamiento satelital, para permitir operaciones integradas (FCC, 2024).

### **3.1.2. Mecanismo de Asignación de Espectro**

El marco SCS no contempla la asignación de nuevas licencias de espectro a operadores satelitales. En su lugar, se basa en un mecanismo de arrendamiento (*leasing*) de espectro basado en el mercado, mediante el cual los licenciatarios terrestres proporcionan voluntariamente acceso a su espectro licenciado a través de acuerdos con operadores satelitales (FCC, 2024). Estos acuerdos se implementan bajo las reglas existentes del mercado secundario de la FCC, incluyendo arrendamientos de tipo *spectrum manager* y transferencias de facto (FCC, 2024).

En el esquema *spectrum manager*, el titular de la licencia de espectro, es decir el MNO, mantiene el control directo y la responsabilidad regulatoria sobre el uso del espectro, aunque permite que un tercero, por ejemplo un operador satelital, lo utilice. En este caso, el operador satelital opera y utiliza el espectro bajo la autoridad del licenciatario. Bajo el esquema de transferencias de facto, el titular de la licencia transfiere al arrendatario el control de facto sobre el uso del espectro, aunque jurídicamente la licencia sigue siendo del titular original. En este caso, el operador satelital decide cómo usar el espectro y controla los aspectos técnicos y operativos (FCC, 2024).

Bajo este modelo, los operadores satelitales deben modificar sus licencias satelitales existentes bajo la Parte 25 (normas aplicables a los servicios satelitales) o bien obtener nuevas autorizaciones que reflejen el uso de bandas de espectro terrestre y las áreas geográficas correspondientes (FCC, 2024) Un requisito clave es que el socio terrestre (MNO), o un conjunto de socios, debe poseer colectivamente las licencias co-canal relevantes en el área geográfica donde se propone la operación SCS (FCC, 2024). Esto garantiza un uso coordinado del espectro y reduce el riesgo de interferencia entre múltiples licenciatarios.

Al adoptar este enfoque, la FCC evitó crear una nueva asignación de espectro o categoría de servicio, aprovechando en su lugar los marcos de licenciamiento existentes y los acuerdos comerciales para permitir un despliegue flexible y eficiente de los servicios SCS (FCC, 2024).

### **3.1.3. Contraprestación por el Uso del Espectro**

La Orden SCS no establece un régimen de tasas específico para el uso del espectro terrestre por parte de operadores satelitales. En su lugar, estos operadores continúan sujetos a las tasas regulatorias existentes asociadas al licenciamiento satelital bajo la Parte 25 de las reglas de la Comisión (FCC, 2024).

Los términos financieros que regulan el acceso al espectro terrestre se determinan mediante acuerdos comerciales privados entre los licenciatarios terrestres y los operadores satelitales (FCC, 2024). Esto refleja la dependencia de la FCC en mecanismos basados en el mercado, donde el valor del acceso al espectro para SCS se determina mediante negociación, en lugar de precios administrativos o subastas. La decisión de la Comisión de no imponer tasas adicionales es consistente con su objetivo de reducir barreras regulatorias y fomentar la innovación en servicios híbridos satelital-terrestres.

### **3.1.4. Condiciones Técnicas para el Uso del Espectro y la Prevención de Interferencias Perjudiciales**

El marco SCS impone condiciones técnicas estrictas para garantizar la coexistencia con los servicios terrestres incumbentes. El requisito fundamental es que las operaciones SCS se autorizan en condición secundaria y sin derecho a protección contra interferencias, lo que implica que las operaciones satelitales no deben causar interferencias perjudiciales a los usuarios terrestres primarios y no pueden reclamar protección frente a interferencias (FCC, 2024).

Para mitigar aún más los riesgos de interferencia, la FCC limitó las operaciones SCS a determinadas bandas de frecuencia y exigió el cumplimiento de todas las reglas técnicas aplicables tanto a los servicios terrestres como a los satelitales (FCC, 2024). Así mismo, la Comisión modificó la Tabla de Atribución de Frecuencias de Estados Unidos para introducir una atribución secundaria al Servicio Móvil por Satélite (MSS) en ciertas bandas terrestres, específicamente vinculada a las operaciones SCS (FCC, 2024).

Adicionalmente, el requisito de que los socios terrestres posean colectivamente todas las licencias relevantes en un área geográfica asegura un control unificado del uso del espectro y reduce los desafíos de coordinación (FCC, 2024). Los operadores satelitales también deben cumplir con los requisitos de autorización de equipos y con las restricciones operativas diseñadas para evitar interferencias perjudiciales y garantizar la compatibilidad con las redes existentes.

### **3.1.5. Bandas de Espectro Utilizadas**

La FCC identificó un conjunto inicial de bandas de frecuencia del servicio móvil terrestre (IMT) en las que se permiten las operaciones SCS. Estas incluyen porciones de las bandas de 600 MHz, 700 MHz y 800 MHz, así como la banda PCS (1.9 GHz) y la banda AWS-H (1915–1920 MHz pareado con 1995–2000 MHz) (FCC, 2024).

Estas bandas fueron seleccionadas porque están ampliamente desplegadas en las redes móviles existentes y son compatibles con dispositivos de consumo estándar, lo que permite comunicaciones directas al dispositivo sin requerir equipos especializados (FCC, 2024). Las bandas de baja frecuencia, en particular, ofrecen características de propagación favorables, lo cual es crítico para la conectividad satélite-dispositivo dada la limitada potencia de los dispositivos móviles.

La Comisión también indicó que la lista de bandas elegibles podría ampliarse en el futuro a medida que se adquiriera experiencia y se demuestre la viabilidad técnica (FCC, 2024).

### **3.1.6. Acuerdos con Operadores de Redes Móviles (MNOs)**

Un elemento central del marco SCS es el requisito de acuerdos formales entre operadores satelitales y operadores de redes móviles terrestres. Los operadores satelitales no pueden acceder de forma independiente al espectro terrestre; en su lugar, deben celebrar acuerdos de arrendamiento o asociación con MNOs que posean los derechos de uso del espectro correspondiente (FCC, 2024).

Estos acuerdos regulan los términos de acceso al espectro, la coordinación operativa y la prestación de servicios. La FCC diseñó este modelo basado en asociaciones para garantizar que los licenciatarios terrestres mantengan el control sobre su espectro, al mismo tiempo que pueden extender su cobertura mediante capacidades satelitales (FCC, 2024). Este modelo también alinea los incentivos entre las partes, ya que tanto los MNOs como los operadores satelitales se benefician de una oferta ampliada de servicios y de una mejor cobertura en áreas desatendidas.

## **3.2. Australia**

### **3.2.1. Objetivo de la Regulación**

El regulador australiano, Autoridad Australiana de Comunicaciones y Medios de Comunicación (ACMA, por su sigla en inglés), ha establecido una Guía Regulatoria (Guía) para asistir a la industria en la provisión del servicio Direct-to-Mobile (D2M) (ACMA, Regulatory guide: Operation of an IMT satellite direct-to-mobile service , 2024). Esta Guía no reemplaza la legislación o la regulación existente. El objetivo principal de la guía regulatoria es proporcionar claridad sobre cómo pueden operar los servicios IMT satelitales D2M dentro del marco existente de gestión del espectro en Australia.

Así mismo, la Guía busca facilitar la introducción de estos servicios sin necesidad de crear un nuevo régimen completamente independiente. En lugar de ello, la Guía explica cómo la regulación existente de licenciamiento, particularmente los asociados al espectro IMT, pueden adaptarse para permitir el uso satelital complementario (ACMA, Regulatory guide: Operation of an IMT satellite direct-to-mobile service , 2024). En este sentido, la Guía permite la prestación del servicio IMT satelital D2M utilizando el espectro móvil IMT en el territorio australiano sin requerir una aprobación adicional del regulador, dado que se

considera que el marco existente permite la prestación de dicho servicio (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

Adicionalmente, la Guía tiene como objetivos también mejorar la cobertura en áreas remotas, fomentar la innovación y asegurar el uso eficiente del espectro, reconociendo el potencial de los servicios IMT satelitales D2M (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

Finalmente, la postura de ACMA es temporal dado que el regulador reconoce que la regulación sobre estos servicios (en general D2D) continúa en desarrollo a nivel internacional, al menos hasta de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2027 (WRC-27) (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

### **3.2.2. Mecanismo de Asignación de Espectro**

Los requerimientos de D2M son cubiertos por la regulación existente, por lo que no es necesario que el regulador proporcione permisos adicionales. Es decir, el espectro de interés para los servicios satelitales IMT D2M está autorizado en toda Australia para su uso por los operadores de redes móviles (ORM) bajo licencias actuales de espectro. Lo cual implica que el operador satelital debe operar en coordinación el titular del espectro IMT móvil, es decir, el operador móvil de red (OMR) (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

En este sentido, en Australia no se requiere autorización satelital para proporcionar el servicio satelital IMT D2M. El regulador espera que los titulares de licencias de espectro IMT (OMR) y sus operadores de satélite con quienes tenga algún acuerdo, realicen las medidas y coordinaciones necesarias para gestionar la coexistencia con otros usos y usuarios del espectro. De acuerdo con el regulador, esto incluiría la gestión de interferencias perjudiciales con servicios fuera de las áreas de cobertura de las licencias de espectro IMT. En este sentido, ACMA considera que la operación de un servicio IMT D2M por satélite probablemente solo sería viable con una licencia de espectro IMT otorgada a los OMR válida en toda Australia (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

### **3.2.3. Contraprestación por el Uso del Espectro**

El servicio IMT D2M está basado en el marco regulatorio ya existente, por lo que no requiere de que el regulador establezca contribuciones adicionales por el uso del espectro. Dado que la Guía no establece un esquema específico de contraprestaciones, se entiende que el uso del espectro y su correspondiente

contraprestación, de existir, es arreglado privadamente en el acuerdo que el regulador recomienda entre el operador móviles y el operador satelital (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

En este sentido, el OMR continúa siendo responsable de las obligaciones asociadas a sus licencias de espectro móvil IMT.

#### **3.2.4. Condiciones Técnicas para el Uso del Espectro y la Prevención de Interferencias Perjudiciales**

La Guía establece la necesidad de coordinación técnica previa entre operadores, así como el cumplimiento de normas técnicas existentes. Esto incluye la consideración de servicios incumbentes, como radioastronomía u otros sistemas sensibles. En este sentido el regulador espera que los OMR que ofrezcan el servicio IMT satelital D2M realicen sus propios análisis de coexistencia y coordinación con otros usos y usuarios del espectro.

Adicionalmente, dado que no existe la atribución al servicio móvil por satélite (SMS) en las bandas atribuidas al servicio móvil a título primario e identificadas para las IMT, el regulador establece en la Guía que los servicios IMT satelitales D2M deben operar a nivel internacional (en frontera con otros países) bajo el principio de no interferencia, no protección, según el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (Art. 4.4) (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

#### **3.2.5. Bandas de Espectro Utilizadas**

La Guía identifica que los servicios D2M pueden operar en bandas IMT existentes, particularmente en el rango comprendido entre 694 MHz y 2.7 GHz, que corresponde a bandas típicamente utilizadas por redes móviles terrestres.

Entre las bandas más relevantes se incluyen aquellas utilizadas para servicios móviles IMT con cobertura nacional, como 700 MHz, 800 MHz, y 850/900 MHz. Las bandas 1800 MHz y 2 GHz también se incluyen, sin embargo, dado que su cobertura es regional en áreas metropolitanas y otras en otras regiones, ACMA considera que se pueden presentar retos técnicos en el despliegue de servicios D2M debido a las posibles interferencias perjudiciales que se puedan presentar con servicios prestados en la misma banda fuera del área de servicio del OMR.

Finalmente, ACMA incluye la banda 2.5 GHz, sin embargo, esta no ha sido licenciada (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

### **3.2.6. Acuerdos con Operadores de Redes Móviles (MNOs)**

La regulación australiana menciona la importancia de los acuerdos entre los OMR y los operadores satelitales con el fin de fortalecer la coordinación y evitar interferencias perjudiciales. De hecho, ACMA recomienda este tipo de acuerdos entre las partes, sin que sean una obligación. En caso de no existir dichos acuerdos, ACMA podría considerar que existen motivos suficientes para considerar las transmisiones D2M como posibles causales de interferencias perjudiciales y, por lo tanto, tomar medidas para evitarlas (ACMA, Regulation of space-based communications systems , 2025).

## **3.3. Canadá**

### **3.3.1. Objetivo de la Regulación**

El departamento de Innovación, Ciencia y Desarrollo Económico (ISED, por su sigla en inglés) del Ministerio de Innovación, Ciencia e Industria de Canadá estableció el marco regulatorio de Cobertura Móvil Suplementaria vía Satélite (*Supplemental Mobile Coverage by Satellite -SMCS*), con el objetivo de permitir el uso de sistemas satelitales para complementar las redes móviles terrestres existentes, extendiendo la cobertura de servicios móviles dentro de las áreas ya licenciadas a operadores móviles. En este sentido, el regulador enfatiza que el servicio satelital debe ser "suplementario" a las redes terrestres y no un sustituto, manteniendo así la coherencia del modelo de gestión del espectro basado en licencias móviles existentes (ISED, 2025).

Específicamente, los objetivos de la regulación son:

- Ampliar los servicios móviles, especialmente en zonas sin cobertura o con cobertura insuficiente, incluyendo comunidades rurales, remotas e indígenas.
- Promover la competencia en la prestación de servicios inalámbricos para que consumidores y empresas se beneficien de una mayor variedad y precios competitivos.
- Apoyar una mayor fiabilidad y resiliencia de los servicios de telecomunicaciones.
- Fomentar la inversión y la evolución de las redes inalámbricas mediante el desarrollo de aplicaciones innovadoras y emergentes.

### **3.3.2. Mecanismo de Asignación de Espectro**

La decisión del regulador establece que el marco SMCS se aplica bajo el régimen de bandas de uso flexible y/o de servicios comerciales móviles (ISED, 2025), es decir, el espectro utilizado corresponde a bandas ya atribuidas y asignadas a operadores móviles. Por lo tanto, el mecanismo de asignación de espectro para los servicios SMCS no implica la creación de nuevas asignaciones de espectro, sino el uso de bandas previamente licenciadas bajo el régimen de licencias de uso flexible.

El acceso al espectro por parte de los operadores satelitales se establece mediante un esquema en el cual el operador móvil conserva el control del espectro. En particular, la Decisión D11 establece que ISED emitirá licencias de espectro para estaciones terrenas genéricas a titulares de licencias de uso flexible, mientras que la Decisión D12 dispone que la elegibilidad para dichas licencias está condicionada a la existencia de un Acuerdo SMCS entre un operador móvil y un operador satelital. Esto confirma que el acceso al espectro por parte del satélite es indirecto y dependiente del operador móvil.

Finalmente, la provisión del servicio SMCS está limitada por el contenido del Acuerdo SMCS y por el alcance de las licencias de uso flexible existentes. La Decisión D13 establece que, aunque las licencias SMCS se emitan sobre una base Tier 1, su alcance se limita a las áreas de servicio y bloques de frecuencia del titular de la licencia móvil (licencias de uso flexible) solo donde se planea ofrecer SMCS. Es decir, solo se permite la oferta de servicios SMCS en las áreas de servicio y bloques de frecuencias enumerados en los Acuerdos SMCS.

En resumen, el modelo canadiense no contempla una asignación directa de espectro al operador satelital. En su lugar, el uso del espectro se basa en bandas previamente licenciadas a operadores móviles bajo el régimen de uso flexible. Estos operadores móviles conservan los derechos de uso del espectro. El marco establece que los operadores satelitales deben operar mediante acuerdos con operadores móviles terrestres, Acuerdo SMCS, quienes mantienen el control del espectro. Estos acuerdos definen las condiciones de uso, incluyendo las bandas y áreas de servicio, asegurando que el modelo D2D funcione como una extensión de las redes móviles existentes (ISED, 2025).

### **3.3.3. Contraprestación por el Uso del Espectro**

En relación con las contraprestaciones, la regulación no introduce un esquema específico de tasas adicionales por el uso del espectro para SMCS por parte de

los operadores satelitales. En cambio, el marco se basa en el hecho de que el espectro ya está asignado a operadores móviles terrestres, quienes continúan siendo responsables de las obligaciones asociadas a sus licencias, incluyendo la contraprestación por el uso de dicho espectro.

En este sentido, la regulación establece que los licenciarios no están autorizados a cobrar a los usuarios finales tarifas relacionadas con la gestión del espectro en nombre del regulador. Específicamente, se indica que "ISED no impone tarifas de acceso al sistema ni cargos por red y licencias". Esto sugiere que el modelo económico se basa en acuerdos comerciales entre operadores móviles y operadores satelitales, más que en un esquema de contraprestaciones regulatorias específicas adicionales (ISED, 2025).

### **3.3.4. Condiciones Técnicas para el Uso del Espectro y la Prevención de Interferencias Perjudiciales**

Como primera medida, SMCS operará bajo una atribución a título secundario del servicio móvil por satélite. Para ello ISED incluyó una nota en el cuadro de atribución de frecuencias en bandas específicas con atribución a título primario móvil, así (ISED, 2025):

ADD Cxx: Atribución adicional: Las siguientes bandas de frecuencia también se atribuyen al servicio móvil por satélite (SMS) a título secundario para la provisión de cobertura móvil suplementaria por satélite (SMCS):

- 663-698 MHz (Tierra-espacio) y 617-652 MHz (espacio-Tierra),
- 698-716 MHz (Tierra-espacio) y 728-746 MHz (espacio-Tierra),
- 716-728 MHz (espacio-Tierra),
- 777-787 MHz (Tierra-espacio) y 746-756 MHz (espacio-Tierra),
- 824-849 MHz (Tierra-espacio) y 869-894 MHz (espacio-Tierra),
- 1850-1915 MHz (Tierra-espacio) y 1930-1995 MHz (espacio-Tierra), y
- 1710-1780 MHz (Tierra-espacio) y 2110-2180 MHz (espacio-Tierra).

Además, el uso de estas bandas de frecuencia por parte de las estaciones del servicio móvil por satélite deberá ajustarse a las políticas de espectro y las normas técnicas y operativas aplicables a los SMCS, y no deberá causar interferencias perjudiciales ni reclamar protección frente a estaciones de otros sistemas de radiocomunicación autorizados.

Con base en la anterior atribución, los proveedores de SMCS deben garantizar la protección de los servicios autorizados en dichas frecuencias.

Adicionalmente, ISED exigirá que los operadores satelitales (estaciones espaciales SMCS) cumplan con los mismos requisitos técnicos y medidas de coexistencia, como la intensidad de campo máxima o la densidad de flujo de potencia, y los límites de emisiones no deseadas, estipulados en los planes técnicos de sistema radioeléctrico (SRSP) y las especificaciones técnicas aplicables a los equipos radioeléctricos (RSS) vigentes para las estaciones base terrestres en las respectivas bandas de operación. Según ISED, la aplicación de los mismos requisitos técnicos permitirá a los operadores terrestres contar con el mismo nivel de protección dentro de sus respectivos bloques y áreas de licencia.

Sin embargo, ISED reconoce que los límites de emisiones no deseadas existentes para las estaciones base terrestres podrían no contemplar el escenario en el que las ganancias de las antenas satelitales superen las ganancias máximas típicas de las estaciones base terrestres. Por lo tanto, ISED desarrollará e incluirá los requisitos técnicos pertinentes para las estaciones espaciales que proporcionan SMCS, como los límites de densidad de flujo de potencia (DFP) fuera de banda, en las normas técnicas correspondientes. Estos se desarrollarán en consulta con las partes interesadas a través de RABC (*Radio Advisory Board of Canada*).

Por otra parte, para la resolución de interferencias y dada la naturaleza complementaria de SMCS, ISED prevé que su despliegue deberá ser dirigido por los proveedores de servicios móviles canadienses para facilitar la coexistencia. Dado que SMCS operará sin interferencias ni protección (servicio móvil por satélite a título secundario en la tabla de atribución de frecuencias canadiense), de llegarse a producir una interferencia perjudicial en las operaciones autorizadas en la misma banda o bloque de frecuencia en áreas adyacentes, o en la banda o bloque de frecuencia adyacente, el titular de la licencia de la estación espacial SMCS (operador satelital) deberá tomar medidas para eliminarla, según las instrucciones y en consulta con el titular de la licencia de la estación terrestre SMCS (operador móvil), así la estación espacial que proporciona el servicio SMCS cumpla con todas las normas técnicas y medidas de coexistencia aplicables.

En este sentido, ISED reconoce que los proveedores de servicios móviles canadienses pueden no tener control directo sobre los satélites que operan como parte de los sistemas SMCS, sin embargo, dichos proveedores móviles deben asumir el papel principal en la gestión de la coexistencia y la prevención de interferencias.

Con respecto a los operadores satelitales SMCS y sus constelaciones, ISED espera que estos coordinen sus constelaciones y resuelvan cualquier caso de interferencia que pueda surgir entre ellas. Para este fin, el ISED participa en las discusiones de la UIT sobre el punto 1.13 del orden del día y revisará el marco

SMCS establecido en esta Decisión, según corresponda, tras la conclusión de la CMR-27.

En relación con las frecuencias atribuidas al servicio de radioastronomía, el ISED exigirá que las estaciones espaciales que operen como parte de un sistema SMCS cumplan con los criterios de protección establecidos en las Recomendaciones ITU-R RA.769-2 e ITU-R RA.1513-2, para las bandas de frecuencia de radioastronomía aplicables (ISED, 2025).

### **3.3.5. Bandas de Espectro Utilizadas**

ISED dispone de las siguientes consideraciones generales a la hora de identificar las frecuencias para la aplicación del marco SMCS (ISED, 2025):

- Armonización regional o internacional.
- Nivel de interés de las partes interesadas.
- Beneficios para los canadienses.
- Posibles problemas de interferencia.
- Tendencias tecnológicas y posibles limitaciones.

Con base en las anteriores consideraciones, las bandas de frecuencias a las cuales les aplicará el marco SMCS de manera inicial son las siguientes:

- 600 MHz (617-652 MHz/663-698 MHz)
- 700 MHz (698-756 MHz and 777-787 MHz)
- 800 MHz (824-849 MHz/869-894 MHz)
- PCS (1850-1915 MHz/1930-1995 MHz)
- AWS-1 (1710-1755 MHz/2110-2155 MHz)
- AWS-3 (1755-1780 MHz/2155-2180 MHz)

En caso de que sea necesario extender las bandas de frecuencia, ISED lanzará una nueva consulta de manera previa.

### **3.3.6. Acuerdos con Operadores de Redes Móviles (MNOs)**

Los Acuerdos SMCS entre los operadores móviles y los operadores satelitales son un requisito relevante en el marco SMCS. Sin estos acuerdos, no es posible prestar servicios SMCS en Canadá. ISED considera que el requisito de contar con un Acuerdo SMCS entre el operador móvil y el operador de satélite brindará seguridad jurídica a ambas partes.

Estos acuerdos deben incluir (ISED, 2025):

- Las licencias de espectro de uso flexible asociadas
- Los bloques de frecuencia y áreas específicas donde se ofrecerá SMCS
- Duración del acuerdo
- Responsabilidades en materia de gestión de interferencias, coordinación y cumplimiento de las normas técnicas
- Medidas necesarias para facilitar el cumplimiento de las condiciones de la licencia genérica de espectro para estaciones terrestres SMCS
- Una cláusula que indique que el acuerdo no es exclusivo
- Cualquier otro aspecto relacionado con la gestión del espectro

Con relación a la cláusula de no-exclusividad, ISED considera que los acuerdos exclusivos podrían obstaculizar la adopción y el despliegue de SMCS. Los acuerdos no exclusivos facilitarían la reventa y el intercambio de servicios disponibles para otros proveedores de servicios móviles de forma ilimitada y no discriminatoria, lo cual es práctica habitual en la industria satelital. Por lo tanto, ISED exige que los Acuerdos SMCS sean no exclusivos (ISED, 2025).

### **3.4. Reino Unido**

#### **3.4.1. Objetivo de la Regulación**

El objetivo principal de la regulación es establecer un marco de autorización que permita el uso de bandas de espectro móvil terrestre para la provisión de servicios D2D vía satélite, permitiendo que teléfonos móviles y otros dispositivos habilitados con una SIM pueden conectarse directamente a dichos satélites. Por lo tanto, no se trata de una nueva asignación de espectro sino de habilitar un

La regulación destaca que los servicios D2D pueden proveer conectividad en áreas no cubiertas por las redes móviles terrestres y servir como respaldo ante fallas de esta red. En este sentido, la regulación está orientada a mejorar la cobertura geográfica, resiliencia y continuidad del servicio de las redes móviles terrestres, particularmente en áreas rurales, costeras o remotas.

Así mismo, Ofcom señala que el modelo permitirá a los operadores utilizar sus frecuencias más "intensamente" y abrir nuevas oportunidades de inversión. En este sentido, el objetivo también incluye impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías y modelos de negocio.

#### **3.4.2. Mecanismo de Asignación de Espectro**

El mecanismo adoptado no consiste en asignar espectro directamente a operadores satelitales, sino en permitir el uso del espectro ya licenciado a los operadores móviles mediante un esquema de modificación de licencias existentes (*licence variation*). La regulación establece que el marco de autorización se basa en la “modificación de la licencia del operadore móvil red (OMR) existente”, lo que implica que el espectro sigue siendo titularidad del operador móvil terrestre (OFCOM, 2025).

Adicionalmente, se establece un esquema de exención de licencia para los dispositivos terminales que se conectan a servicios D2D, es decir, para los dispositivos móviles habilitados con una SIM. Esto significa que los usuarios finales no requieren licencias individuales para utilizar estos servicios, siempre que operen bajo una red autorizada. Ambos, la modificación de licencias de los OMR y la exención de licencias para terminales constituyen el núcleo del mecanismo de asignación.

La regulación requiere la existencia de un acuerdo contractual entre el operador móvil y el operador satelital, lo cual es un requisito previo para la prestación del servicio. Este elemento es importante, ya que confirma que el acceso al espectro por parte del operador satelital es indirecto y mediado por el operador móvil, consolidando un modelo de uso compartido y coordinado del espectro.

Finalmente, la regulación establece condiciones en las licencias D2D presentes en la siguiente tabla (OFCOM, 2025).

**Tabla 2. Condiciones en la licencia D2D**

<b>Condición</b>	<b>Resumen</b>
<b>Frecuencia</b>	Las frecuencias que pueden utilizarse para el servicio D2D se especificarán en la modificación de la licencia. El operador de redes móviles que tenga previsto ofrecer servicios D2D deberá identificarlas a partir de las frecuencias autorizadas en la presente regulación.
<b>Necesidad de un acuerdo contractual</b>	Es necesario un contrato entre el operador de redes móviles y el operador de satélites antes de que se puedan prestar los servicios D2D, y los servicios deberán cesar si no existe dicho contrato. El contrato deberá garantizar el cumplimiento por parte del operador de satélites de las condiciones pertinentes establecidas en el anexo de la licencia D2D.
<b>Límites geográficos</b>	El servicio D2D reflejará el ámbito territorial de la licencia objeto de modificación y se limitará a las aguas territoriales del Reino Unido. No incluirá las Islas del Canal ni la Isla de Man.
<b>Coordinación transfronteriza</b>	Además de los criterios de protección (en forma de límites globales de DFP) establecidos en la tabla 4.1 (y en la tabla 1 del anexo de la licencia D2D), los servicios D2D deberán prestarse

	de conformidad con los procedimientos de coordinación y compartición que Ofcom notifique periódicamente.
<b>Coordinación con usuarios del mismo canal, de canales adyacentes y del espectro</b>	El servicio D2D deberá cumplir los criterios de protección establecidos en la tabla 4.1 (y en la tabla 1 del anexo de la licencia D2D); los servicios D2D se prestarán de conformidad con los procedimientos de coordinación y uso compartido que Ofcom notifique periódicamente.
<b>Ausencia de interferencias, ausencia de protección</b>	La red D2D no debe causar interferencias perjudiciales a otros servicios y no puede reclamar protección frente a las interferencias de otros servicios.
<b>Mantenimiento de registros</b>	El titular de la licencia estará obligado a mantener determinados registros y a facilitarlos a Ofcom cuando así se le solicite.

**Fuente:** Ofcom

### **3.4.3. Contraprestación por el Uso del Espectro**

La regulación no establece un esquema específico de contraprestaciones adicionales por el uso del espectro para servicios D2D. Dado que la regulación se basa en el hecho de que el espectro ya está licenciado a los operadores móviles, quienes continúan siendo responsables de las obligaciones asociadas a sus licencias, la regulación no crea una nueva estructura de pagos regulatorios para los operadores satelitales en el marco D2D.

El espectro para los servicios D2D asignado a los OMR, no se reasigna ni se vuelve a licenciar, por lo tanto, la compensación económica por el uso del espectro depende exclusivamente del contrato entre el operador móvil y el operador satelital. El regulador no interviene directamente en estos acuerdos comerciales, solamente establece condiciones técnicas y regulatorias para su funcionamiento (OFCOM, 2025).

### **3.4.4. Condiciones Técnicas para el Uso del Espectro y la Prevención de Interferencias Perjudiciales**

La regulación establece un conjunto de condiciones técnicas destinadas a garantizar la coexistencia con otros usuarios del espectro. Entre las principales condiciones se encuentran los límites de densidad de flujo de potencia (DFP), que se aplican a las transmisiones satelitales para proteger a otros usuarios del espectro, tanto dentro del país como en zonas fronterizas (OFCOM, 2025).

**Tabla 3. Límites de potencia para las emisiones no deseadas de satélites D2D en el espectro de enlace descendente móvil. Estos límites de potencia se aplican en la superficie de la Tierra.**

Banda móvil (MHz)	Límite de PFD en el espectro de enlace descendente móvil (dBW/MHz/m <sup>2</sup> )
700, 800, 900	-119
1400	-113
1800, 2100	-111
2600	-108

Fuente: Ofcom

Así mismo, se establece un requisito de ángulo mínimo de elevación de 10 grados para las transmisiones satelitales, con el fin de reducir el riesgo de interferencias.

Adicionalmente, el marco incorpora el principio de no interferencia, no protección, por lo tanto, los servicios D2D no deben causar interferencia perjudicial y no tienen derecho a protección frente a interferencias de otros servicios. También se exige el cumplimiento de procedimientos de coordinación, incluyendo la protección de sistemas críticos como radares en bandas adyacentes (OFCOM, 2025).

Finalmente, los operadores deben implementar protocolos de mitigación en caso de interferencia, incluyendo reducción de potencia, reconfiguración de haces satelitales y priorización de tráfico de emergencia.

### 3.4.5. Bandas de Espectro Utilizadas

La regulación permite el uso de bandas móviles IMT existentes por debajo de 3 GHz, específicamente aquellas utilizadas por servicios móviles terrestres en esquemas de duplexación por división de frecuencia (FDD) y enlace descendente suplementario (SDL). Esto incluye bandas como (OFCOM, 2025):

- 700 MHz
- 800 MHz
- 900 MHz
- 1400 MHz
- 1800 MHz

- 2.1 GHz
- 2.6 GHz

El uso de estas bandas está condicionado a la aprobación de una modificación de la licencia del operador móvil correspondiente. Las bandas por debajo de 1 GHz se utilizan tradicionalmente para cobertura amplia y rural, las bandas entre 1 GHz y 2.6 GHz proveen mayor capacidad de datos, y las bandas 2.6 GHz y 3.5 GHz se consideran para futuras expansiones de servicios D2D.

Finalmente, Ofcom señala que, de las bandas propuestas, algunas de ellas, como las de 1.4 GHz y 2.1 GHz, requerirían un análisis técnico más detallado y podrían necesitar una consulta previa a su autorización.

#### **3.4.6. Acuerdos con Operadores de Redes Móviles (MNOs)**

La regulación establece que la existencia de un acuerdo contractual entre el operador móvil y el operador satelital es un requisito obligatorio previo para la prestación de servicios D2D. En particular, se indica que el OMR debe garantizar, mediante un contrato con el operador satelital, que este último cumpla con las condiciones técnicas y regulatorias establecidas en la regulación. Además, se dispone expresamente que, en caso de terminación del contrato, el operador móvil debe cesar inmediatamente la provisión del servicio D2D (OFCOM, 2025).

El contenido del acuerdo debe incluir disposiciones específicas que aseguren el cumplimiento de las condiciones técnicas del régimen D2D, incluyendo aquellas relacionadas con la gestión de interferencias y coordinación del espectro (ver Tabla 2). Así mismo, el acuerdo debe obligar al operador satelital a cumplir con las condiciones establecidas en el marco de licenciamiento D2D, lo cual incluye parámetros técnicos, reglas de coexistencia y obligaciones regulatorias.

Finalmente, como parte de la solicitud de modificación de licencia del operador móvil, este operador debe presentar evidencia de la existencia de un acuerdo comercial con el operador satelital o, al menos, un compromiso formal de incluir las disposiciones regulatorias requeridas en dicho acuerdo. El regulador luego realiza una verificación ex ante del contenido mínimo del acuerdo (OFCOM, 2025).

En este sentido, los OMR deben proveer la siguiente información a Ofcom:

- i) Detalles sobre las frecuencias que se pretenden utilizar;

- ii) Prueba de un acuerdo comercial entre un operador de red móvil (ORM) y un operador de satélite D2D, incluyendo cláusulas que exijan al proveedor de satélite el cumplimiento de las condiciones técnicas establecidas en la regulación, o una declaración de intenciones que indique el compromiso de incluir las disposiciones pertinentes en el contrato;
- iii) Prueba de la colaboración con ORM que operan en el mismo canal en territorios vecinos;
- iv) Prueba de los resultados de las pruebas realizadas en el Reino Unido, o de las realizadas en otras jurisdicciones, junto con una explicación de (i) cómo se aplican en el contexto del Reino Unido y (ii) los planes para realizar pruebas en el Reino Unido;
- v) Mapas DFP que muestren el área de servicio prevista; y
- vi) Los operadores que deseen operar en 2.6 GHz deberán proporcionar su metodología de asignación y los resultados de sus cálculos.

### **3.5. Chile**

#### **3.5.1. Objetivo de la Regulación**

Chile fue el primer país de Latinoamérica en conectar teléfonos móviles a través de redes satelitales D2D. El objetivo principal de la regulación establecida fue permitir que personas en carreteras inhóspitas, el desierto o haciendo *trekking* en zonas aisladas y sin señal, puedan pedir ayuda en caso de emergencia (Subtel, 2025).

#### **3.5.2. Mecanismo de Asignación de Espectro**

Dado que el uso del espectro IMT se articula a través de las concesiones ya otorgadas a operadores móviles, quienes mantienen la titularidad de los derechos de uso sobre este espectro, el mecanismo de asignación no implica la creación de un nuevo título habilitante independiente para los operadores satelitales.

De hecho, la normativa en Chile modifica las resoluciones de asignación de espectro móvil IMT agregando el siguiente texto:

“Las bandas de frecuencias reguladas por la presente resolución [bandas de frecuencia asignadas a los operadores móviles] podrán ser empleadas para suministrar el servicio público móvil concesionado a través de satélites para una conectividad directa entre estaciones espaciales y los equipos de usuario de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), (...) sin que ello constituya un reemplazo del servicio móvil por medio de transmisión terrestre, ni exima, en ningún caso, a la concesionaria de cumplir con las obligaciones derivadas de las autorizaciones entregadas por el Ministerio y la Subsecretaría, en el marco de las correspondientes concesiones de servicio público móvil que tengan otorgadas.” (Subtel, 2025)

Adicionalmente, el operador móvil debe solicitar la autorización para ofrecer el servicio D2D, la cual debe contener al menos:

- Las frecuencias a utilizar
- La red de satélites convenida en su caso
- Las condiciones técnicas del acuerdo entre el operador satelital y el operador móviles

Los operadores móviles podrán utilizar las frecuencias asignadas en su respectiva concesión para convenir con operadores satelitales la prestación del servicio móvil a través de medios satelitales.

### **3.5.3. Contraprestación por el Uso del Espectro**

No se establece contraprestación alguna para el uso del espectro móvil IMT dado que la titularidad no se modifica. El uso de estas frecuencias por parte de los operadores satelitales se debe regir bajo el acuerdo que estos operadores deben realizar con los operadores móviles de red, quienes mantienen la titularidad y las obligaciones en relación con las contraprestaciones por el uso del espectro.

### **3.5.4. Condiciones Técnicas para el Uso del Espectro y la Prevención de Interferencias Perjudiciales**

El gobierno chileno modificó el cuadro nacional de atribución de frecuencias para permitir el servicio de radiocomunicaciones móviles por satélite (SMS) a título secundario en los siguientes términos:

“Nota 104. Las bandas 703-748 MHz, 758-803 MHz, 824-849 MHz, 869-894 MHz, 1710-1770 MHz, 1850-1990 MHz, 2110-2160 MHz y 2500-2690 MHz, se atribuyen adicionalmente en forma secundaria al móvil por satélite para ser empleadas exclusivamente en la provisión del servicio denominado directo al dispositivo (D2D, por sus siglas en inglés). Este servicio no debe causar interferencias perjudiciales a ningún servicio de telecomunicaciones. Con todo, la instalación, operación y explotación de este servicio estará supeditada a las condiciones técnicas que establezca la normativa correspondiente de la Subsecretaría de Telecomunicaciones.” (Subtel, 2025)

Adicionalmente el regulador chileno, Subsecretaria de Telecomunicaciones (Subtel), estableció que la operación del servicio D2D “no debe causar interferencias perjudiciales a los sistemas terrestres en la zona de servicio de los concesionarios móviles terrestres, por lo que se debe considerar que en la prestación del servicio se adopten todas las medidas necesarias para controlar las eventuales interferencias. Asimismo, no debe causar interferencias perjudiciales a otras redes satelitales ni al servicio de radioastronomía, por lo que debe haber una coordinación mutua entre el concesionario terrestre de servicios móviles y el operador satelital.” (Subtel, 2025)

### **3.5.5. Bandas de Espectro Utilizadas**

Las bandas autorizadas para prestar el servicio D2D en Chile son las mismas bandas modificadas en cuadro nacional de atribución de frecuencias para permitir el SMS a título secundario:

- 700 MHz
- 850 MHz
- 1900 MHz (PCS)
- 1.7/2.1 GHz (AWS)
- 2.6 GHz

### **3.5.6. Acuerdos con Operadores de Redes Móviles (MNOs)**

Los operadores móviles deben realizar acuerdos con los operadores satelitales para la prestación del servicio D2D. Dicho acuerdo debe incluirse en la solicitud que el operador móvil debe hacer para obtener la respectiva autorización para prestar servicios D2D (Subtel, 2025).

## **3.6. Conclusiones**

### **3.6.1. Mecanismo de asignación del espectro**

En todos los países analizados, el mecanismo de asignación del espectro para D2D presenta una característica común: no se asigna espectro directamente a los operadores satelitales. En cambio, el espectro utilizado corresponde a bandas previamente asignadas a operadores móviles de red (OMR), por lo tanto, el acceso al espectro IMT por parte de los operadores satelitales se realiza mediante acuerdos comerciales con los OMR, quienes mantienen la titularidad y responsabilidad sobre el uso del espectro. Dependiendo del país, este modelo se implementa a través de esquemas como arrendamiento de espectro (Estados Unidos), modificación de licencias (Reino Unido) o uso bajo licencias existentes (compartición) (Australia y Canadá).

### **3.6.2. Contraprestaciones por el uso del espectro**

El benchmarking evidencia que no se han establecido contraprestaciones regulatorias específicas adicionales para el uso del espectro en servicios D2D. En todos los casos analizados, las obligaciones económicas continúan recayendo en los operadores móviles titulares de las licencias de espectro y corresponden a los procesos de asignación iniciales.

### **3.6.3. Condiciones técnicas para el uso del espectro**

Las condiciones técnicas establecidas en los distintos países convergen en un principio fundamental: las operaciones D2D deben realizarse bajo el criterio de no causar interferencias perjudiciales y no reclamar protección frente a otros servicios. Este principio es importante para garantizar la coexistencia con servicios terrestres existentes.

Adicionalmente, los marcos regulatorios exigen el cumplimiento de las normas técnicas aplicables a las bandas móviles, incluyendo límites de potencia, densidad de flujo de potencia (DFP), y requisitos de coordinación entre operadores.

Un elemento relevante es la responsabilidad compartida entre operadores móviles y satelitales en la gestión de interferencias, lo que refuerza la necesidad de coordinación técnica y operativa. En general, los operadores móviles desempeñan un rol central en la supervisión del uso del espectro por parte de

los operadores satelitales y son también responsables de la mitigación de interferencias perjudiciales.

#### **3.6.4. Bandas de espectro permitidas**

El uso del espectro para servicios D2D se basa principalmente en bandas móviles IMT existentes, especialmente aquellas por debajo de 3 GHz. Las bandas más comunes incluyen 600 MHz, 700 MHz, 800 MHz, PCS (1.9 GHz), AWS (1.7/2.1 GHz) y, en algunos casos, bandas adicionales como 2.6 GHz.

Las bandas bajas son particularmente relevantes debido a sus características de propagación, que permiten una cobertura más amplia y una mejor comunicación con satélites. Las bandas medias, por su parte, ofrecen mayor capacidad, aunque presentan mayores desafíos técnicos en términos de interferencia y cobertura.

Estas bandas han sido modificadas en los cuadros de atribución de frecuencias para incluir una asignación secundaria al servicio móvil por satélite (SMS), es decir, no deben generar interferencias perjudiciales y deben aceptar cualquier interferencia de los servicios a título primario, fijos y móviles.

#### **3.6.5. Acuerdos con operadores móviles**

Los acuerdos entre operadores móviles y operadores satelitales constituyen un elemento central en todos los marcos regulatorios analizados. En la mayoría de los países, estos acuerdos son requisito obligatorio para la prestación del servicio D2D.

Estos acuerdos definen aspectos clave como el acceso al espectro, la coordinación técnica, la gestión de interferencias y las áreas de cobertura. En algunos casos, también incluyen requisitos específicos como cláusulas de no exclusividad o la obligación de cumplir con condiciones regulatorias y técnicas definidas por la autoridad.

Así las cosas, dado que la viabilidad de las soluciones D2D depende en gran medida de las condiciones regulatorias aplicables al uso del espectro, resulta necesario analizar el marco normativo vigente en Colombia. Este análisis permite identificar en qué medida las reglas actuales facilitan o limitan la incorporación de estas tecnologías, así como los posibles vacíos o tensiones que emergen al intentar integrar modelos de conectividad híbridos dentro de un esquema diseñado para servicios diferenciados.

## **4. MARCO REGULATORIO EN COLOMBIA**

Como ya se señaló bajo el esquema D2D, el espectro IMT, históricamente asignado a operadores móviles bajo condiciones de uso exclusivo, comienza a ser utilizado de manera complementaria por sistemas satelitales.

A nivel internacional, también se observa que la implementación de soluciones D2D ha avanzado principalmente a través de acuerdos entre operadores móviles y proveedores satelitales, que permiten el uso coordinado del espectro previamente asignado. Estos esquemas, que en la práctica se asemejan a modelos de compartición de espectro, han sido adoptados en distintos mercados como una alternativa para ampliar la cobertura en zonas rurales o no atendidas, manteniendo la continuidad del servicio sobre dispositivos existentes. En este contexto, el análisis del marco regulatorio cobra especial relevancia, en la medida en que estos arreglos desafían las estructuras tradicionales de asignación exclusiva del espectro y exigen la definición de reglas claras sobre derechos, obligaciones y condiciones técnicas aplicables.

### **4.1. Fundamento constitucional del espectro radioeléctrico en Colombia**

La Constitución Política de Colombia establece en su artículo 75 que el espectro radioeléctrico es un bien público inenajenable e imprescriptible, sujeto a la gestión y control del Estado. De acuerdo con lo establecido en este artículo el proceso de asignación de permisos de uso del espectro electromagnético debe estar orientado a garantizar el libre acceso en condiciones de igualdad y a evitar prácticas que faciliten la concentración de medios o prácticas monopolísticas.

Este mandato implica entonces tres elementos fundamentales:

1. El Estado es el responsable de su administración.
2. Debe garantizarse el acceso equitativo al recurso.
3. Se debe prevenir la concentración indebida y promover la competencia.

Este fundamento constitucional orienta toda la regulación posterior y justifica la intervención estatal en la asignación y uso del espectro. Así la naturaleza híbrida del D2D, que mezcla espectro IMT asignado a operadores móviles terrestres con infraestructura satelital global, pone en tensión específicamente la forma en que los operadores satelitales pueden hacer uso de espectro IMT.

## **4.2. Régimen legal: Ley 1341 de 2009**

La Ley 1341 de 2009 aplica lo establecido en la Constitución y establece el marco general del sector TIC en Colombia, definiendo los principios de intervención del Estado en la gestión del espectro radioeléctrico.

Entre sus principales disposiciones se destaca lo establecido en su artículo 2 en el que señala, entre otros, que:

- El espectro radioeléctrico es un recurso escaso cuya asignación debe realizarse mediante mecanismos que promuevan su uso eficiente.
- El Estado debe propiciar escenarios de libre competencia que incentiven la inversión actual y futura en el sector y la concurrencia al mercado en condiciones de igualdad.
- El Estado debe promover el óptimo aprovechamiento de los recursos escasos para generar, entre otros aspectos, calidad y eficiencia en beneficio de los usuarios.
- El Estado debe promover el acceso universal a los servicios de telecomunicaciones, especialmente en zonas rurales y apartadas.

De otro lado en su artículo 11 esta Ley dispone un esquema de habilitación general para la provisión de redes y servicios de telecomunicaciones, que no incluye los permisos de uso del espectro radioeléctrico. De esta forma el uso del espectro se puede dar solo mediante permisos otorgados por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC) a través de procesos de selección objetiva en los que exista pluralidad de interesados, que procuren la maximización del bienestar social, el fomento de la inversión y la certidumbre de las condiciones de inversión. Finalmente, el artículo 13 dispone que el uso de este recurso causará una contraprestación económica.

## **4.3. Desarrollo reglamentario: Decreto 1078 de 2015**

El Decreto 1078 de 2015 reglamenta lo establecido en la Ley 1341 de 2009 compilando la regulación del sector TIC y desarrollando las disposiciones legales en materia de espectro. Sobre el uso del espectro radioeléctrico, dispone:

#### **4.3.1. Asignación de permisos de uso**

El uso del espectro se otorga mediante permisos los cuales deben asignarse, como regla general, a través de mecanismos de selección objetiva cuando exista pluralidad de interesados.

Este principio se materializa en la práctica mediante procesos competitivos, que se diseñan con base en el tipo de espectro sobre el que se otorgarán los permisos.

#### **4.3.2. Excepciones**

El decreto prevé asignaciones directas en casos específicos, como:

- Pruebas técnicas
- Continuidad del servicio
- Seguridad y defensa

#### **4.3.3. Contraprestación económica**

Así mismo señala que el uso del espectro genera una contraprestación económica obligatoria, cuyo valor depende de factores como el tipo de servicio, el ancho de banda, el área de cobertura, entre otros, según lo establecido en el artículo 2.2.2.4.3.

#### **4.3.4. Topes de espectro**

Para el espectro identificado para IMT en el artículo 2.2.2.4.1 establece unos topes máximos sobre la cantidad de espectro de este tipo que puede ser usado por cada Proveedor de Redes y Servicios de Telecomunicaciones (PRST), estos topes están fijados así<sup>11</sup>:

- a. 50 MHz para las Bandas Bajas (menores a 1 GHz).
- b. 100 MHz para las Banda Medias (entre 1 GHz y menor a 3 GHz).
- c. 100 MHz para las Bandas Medias Altas (entre 3 GHz y 6 GHz).

---

<sup>11</sup> Durante el mes de abril de 2026 el MinTIC publicó para comentarios de la ciudadanía una propuesta de modificación de estos topes. Consultar: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/437229:Se-publica-para-comentarios-el-proyecto-normativo-sobre-la-definicion-de-los-topes-de-asignacion-del-espectro-radioelectrico-identificado-para-IMT>

#### 4.4. Diferenciación por tipo de espectro

El marco colombiano reconoce que el espectro no es homogéneo, por lo que los mecanismos de asignación varían según su uso y los objetivos de política pública que se persigan.

Así, se tienen de manera general los siguientes mecanismos de acceso:

**Tabla 4. Mecanismos de acceso al espectro**

<b>Mecanismo de acceso al espectro</b>	<b>Detalle</b>	<b>Soporte regulatorio</b>
<b>Procedimiento de selección objetiva para espectro IMT</b>	En los últimos años en Colombia se ha usado las subastas como mecanismo de selección objetiva para la asignación de permisos de uso de espectro en bandas identificadas para las IMT. Cada procedimiento ha contado con su propia reglamentación con base en los objetivos de política pública perseguidos a través de cada asignación.	Resoluciones MinTIC 449 de 2013, 3078 de 2019 y 3947 de 2023
<b>Procedimiento de selección objetiva para espectro no IMT, ni servicios satelitales</b>	A través de un procedimiento de primero pedido primero atendido, se otorgan permisos de uso de espectro en bandas no identificadas para IMT ni para servicios satelitales.	Resolución Mintic 1075 de 2020
<b>Continuidad del servicio</b>	Es posible otorgar permisos de uso de espectro de manera directa en aquellos casos en que prime la continuidad del servicio, por la inminente afectación en la prestación del servicio, únicamente por el término estrictamente necesario para asignar los permisos de uso del espectro mediante un proceso de selección objetiva.	Artículo 11 de la Ley 1341 de 2009 y artículo 2.2.2.1.2.1 del Decreto 1078 de 2015
<b>Asignación directa para la defensa nacional, atención y prevención de situaciones de emergencia y seguridad pública</b>	Se asigna a solicitud de parte y sin que medie un proceso de selección objetiva, permisos o canales radioeléctricos que estén relacionados con la operación de servicios de provisión de redes con fines "estratégicos para la defensa nacional, atención y prevención de situaciones de emergencia y seguridad pública".	Artículo 2.2.2.1.2.4 Decreto 1078 de 2015
<b>Permisos temporales para pruebas técnicas y homologación de equipos</b>	Se asigna a solicitud de parte y sin que medie un proceso de selección objetiva, permisos de forma temporal para la realización de pruebas técnicas, así como para la homologación de equipos.	Artículo 2.2.2.1.2.4 Decreto 1078 de 2015, Resolución MinTIC 467 de 2020
<b>Asignación para servicios por satélite</b>	Se asigna de manera directa, dada la asignación previa hecha por la UIT, permisos para el uso del espectro asociado a los servicios satelitales fijo, móvil y radiodifusión por medio de estaciones terrenas	Resolución 376 de 2022

<b>Frecuencias de uso libre</b>	Se han establecido en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNABF) bandas de frecuencias de uso libre de acuerdo con las recomendaciones de la UIT. Este uso implica límites a través de condiciones técnicas y operativas específicas para las aplicaciones permitidas.	Artículo 11 Ley 1341 de 2009, título 4 Resolución ANE 105 de 2020
<b>Mercado secundario</b>	<p><b>Cesión de permisos de uso de espectro:</b></p> <p>Se permite la cesión de permisos de uso de espectro con autorización previa del MinTIC sin desmejorar los requisitos, calidad y obligaciones bajo los cuales se otorgó el permiso a ceder. Esta cesión es posible a nivel nacional o regional.</p> <p><b>Compartición de espectro:</b></p> <p>No se identifica una disposición legal vigente que fomente o restrinja de manera expresa la compartición. No obstante, bajo el marco normativo vigente persisten incertidumbres relevantes, pues no resulta claro cuáles serían los derechos y obligaciones frente al Estado, ni las responsabilidades frente a los usuarios, así como tampoco las condiciones técnicas aplicables. Durante el mes de abril de 2026 el MinTIC publicó para comentarios de la ciudadanía una propuesta de reglamentación <sup>12</sup>.</p> <p><b>Comercialización del espectro:</b></p> <p>Al ser el espectro un bien inenajenable no se permite el acuerdo entre privados sobre el mismo sin que sea reglamentado y autorizado por el Ministerio. Hoy no hay reglamentación.</p>	<p>Artículo 11 de la Ley 1341 de 2009 y artículo 2.2.2.7.1. y siguientes del Decreto 1078 de 2015</p>

**Fuente:** Elaboración propia

De los mecanismos de acceso presentados en la anterior tabla, a continuación, se hace énfasis en lo relativo a las modalidades de acceso que son de interés para el análisis que se realiza en este documento, esto es, espectro IMT y espectro para servicios satelitales.

#### 4.4.1. Espectro IMT y subastas

Como ya se mencionó las bandas identificadas para IMT en Colombia han sido asignadas en los últimos años mediante procesos competitivos tipo subasta, estructurados a través de instrumentos regulatorios específicos para cada proceso.

<sup>12</sup> Consultar: <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/437231:Gobierno-Nacional-busca-incrementar-la-conectividad-en-las-zonas-rurales-y-apartadas-a-traves-de-la-comparticion-del-espectro-radioelectrico>

Este enfoque responde a características estructurales del espectro IMT:

- Alta demanda del recurso
- Escasez relativa
- Alto valor económico

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, las subastas permiten asignar el espectro a los agentes que más lo valoran, promoviendo eficiencia económica (OECD, 2022). En la misma línea, el Banco Mundial ha señalado que estos mecanismos incentivan la inversión y el despliegue de infraestructura (Banco Mundial, 2018).

El espectro IMT así mismo se caracteriza por su alto costo, explicado principalmente por:

- Exclusividad en el uso
- Amplia cobertura geográfica
- El uso del espectro puede representar para los PRST ahorros en el despliegue de infraestructura
- Capacidad de generar altos ingresos

Como señala la literatura académica (Klemperer, 2002), las subastas en mercados de telecomunicaciones reflejan el valor esperado de explotación comercial del recurso.

De esta forma, estos procesos han sido reglamentados a través las Resoluciones MinTIC 449 de 2013, 3078 de 2019 y 3947 de 2023 como se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 5 Procesos recientes de asignación de espectro IMT en Colombia**

<b>Tema</b>	<b>Resolución MinTIC 449 de 2013 (4G)</b>	<b>Resolución MinTIC 3078 de 2019</b>	<b>Resolución MinTIC 3947 de 2023 (5G)</b>
<b>BANDAS DE ESPECTRO</b>	1900 MHz, AWS, 2500 MHz	700 MHz, 1900 MHz, 2500 MHz	700 MHz, AWS, 1900 MHz, 2500 MHz, 3500 MHz
<b>REQUISITOS JURÍDICOS Y ECONÓMICOS</b>	Los participantes debían acreditar experiencia en la prestación de servicios de telecomunicaciones y constituir una garantía de seriedad de la oferta.		
<b>MECANISMO DE ASIGNACIÓN</b>	Subasta simultánea de múltiples rondas (SMRA), permitiendo la puja por múltiples	Subasta competitiva bajo esquema de múltiples rondas.	<b>700 MHz:</b> subasta de reloj ascendente simple; <b>AWS, 1900 MHz y 2500 MHz:</b> subasta

	bloques en rondas sucesivas.		simultánea de múltiples rondas; <b>3500 MHz:</b> esquema híbrido.
<b>CONTRAPRESTACIÓN ECONÓMICA</b>	Pago total aproximado de \$770.535 millones.	Pago total aproximado de \$3,21 billones.	Pago de \$1,37 billones (banda 3500 MHz) y \$157.057 millones (banda 2500 MHz).
<b>OBLIGACIONES DE COBERTURA</b>	Se establecieron compromisos de expansión de red, especialmente en zonas no atendidas.	Se incorporaron obligaciones de cobertura como mecanismo parcial de pago del espectro.	Se establecieron obligaciones de hacer como mecanismo de pago, incluyendo conectividad en instituciones educativas y cobertura en carreteras.
<b>ENFOQUE DE POLÍTICA PÚBLICA</b>	Impulso al despliegue inicial de redes 4G.	Enfoque en el cierre de brechas digitales y ampliación de cobertura.	Promoción del despliegue de 5G y fortalecimiento de la conectividad social.
<b>OBLIGACIONES ADICIONALES</b>	No se establecieron obligaciones adicionales específicas.	Se exigieron compromisos de modernización tecnológica, especialmente en la banda de 700 MHz.	Se definieron condiciones de despliegue mínimo a nivel nacional para redes 5G.

En este contexto, cada proceso de asignación de espectro IMT ha contado con una reglamentación propia, definida en función de las condiciones técnicas, económicas y de política pública vigentes al momento de la asignación, dichas reglas responden a un modelo de uso exclusivo por parte de operadores móviles terrestres. En consecuencia, no resulta válido jurídicamente, ni técnicamente, extender automáticamente estas condiciones al uso de tecnologías D2D, que implican esquemas de operación distintos, basados en la integración con redes satelitales y potenciales formas de uso flexible de ese espectro ya asignado.

#### **4.4.2. Espectro para servicios satelitales (Fijo por satélite (FSS) y móvil por satélite (MSS))**

A diferencia del espectro IMT, los servicios satelitales:

- Tienen alcance global
- Están sujetos a coordinación internacional
- No puede asignarse bajo la lógica estricta de exclusividad nacional

## Régimen en Colombia: Resolución MinTIC 376 de 2022

La Resolución MinTIC 376 de 2022 establece el marco para el uso del espectro en servicios satelitales en bandas atribuidas para estos servicios.

Este régimen se caracteriza por:

- Asignación directa, dado que la UIT por solicitud de las diferentes Administraciones, adelanta el proceso de asignación de las frecuencias asociadas al ROE y no se consideró que hubiera lugar a que Colombia adelantara un nuevo proceso de asignación, porque el mismo ya había sido realizado a través del proceso de coordinación, notificación e inscripción que se desarrolla ante el mencionado organismo internacional.
  
- Permisos para operación de estaciones terrenas. Se establecen 5 modalidades:
  - I. Estación terrena con características técnicas particulares.
  - II. Grupo de estaciones terrenas de baja potencia con características técnicas de operaciones similares.
  - III. Estación terrena formada por un arreglo estructurado de antenas que se enlazan a una constelación de satélites en órbitas no geostacionarias.
  - IV. Estación de solo recepción por interés del PRST.
  - V. Grupo de estaciones terrenas en movimiento (ESIM por sus siglas en inglés) con características técnicas de operaciones similares.
  
- Contraprestación: Respecto de la contraprestación, los pagos son periódicos y están asociados a la potencia de la estación terrena, bandas de frecuencia y un factor de precio base.

El procedimiento de acceso aquí explicado de manera resumida aplica entonces exclusivamente a bandas de espectro atribuidas en Colombia al servicio fijo y móvil por satélite, por lo que las reglas definidas no serían hoy aplicables al uso de la tecnología D2D a través de bandas identificadas para IMT.

#### **4.4.3. Compartición de espectro**

En Colombia no se identifica una disposición legal vigente que fomente o restrinja de manera expresa este tipo de acceso al uso del espectro. No obstante, bajo el marco normativo vigente persisten incertidumbres relevantes respecto al uso de espectro previamente asignado a un PRST que sería utilizado por otro bajo la figura de compartición. En particular, no resulta claro cuáles serían los derechos y obligaciones frente al Estado, ni las responsabilidades frente a los usuarios como destinatarios de los servicios, así como tampoco las condiciones técnicas aplicables, por ejemplo, aquellas orientadas a mitigar posibles interferencias perjudiciales, entre otros aspectos.

En abril de 2026 el MinTIC publicó<sup>13</sup> para comentarios de la ciudadanía una propuesta de reglamentación de la materia que consiste en términos generales en permitir la compartición de espectro IMT previa autorización expresa del Ministerio en los municipios incluidos en los siguientes listados anexos a la Resolución CRC 5050 de 2016: I) Anexo 4.9 con la clasificación por desempeño Incipiente, Bajo o Limitado, II) Anexo 5.10 con clasificación del nivel de desempeño de calidad Medio o Bajo, y III) Anexo 5.7 en el que se exceptúa el cumplimiento de los indicadores de calidad dispuestos por la CRC. Así mismo, se podrá compartir el espectro en los sitios dispuestos en el Listado de necesidades de conectividad que el Ministerio publique.

Esta compartición se permitiría sin que se constituya un nuevo permiso para el uso de ese recurso ni se transfieran o cedan los derechos de uso del recurso o las obligaciones adquiridas.

En esta modalidad de compartición podrían participar empresas de cualquier sector económico, proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones, proveedores del servicio de acceso a Internet y comunidades organizadas de conectividad.

#### **4.4.4. Marco internacional: Reglamento de Radiocomunicaciones**

En el plano internacional el asunto se encuentra en construcción. El Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones establece las reglas globales para el uso del espectro.

En relación con las bandas IMT y los servicios satelitales:

- Define las atribuciones de bandas (móvil, fijo, satelital).
- Establece condiciones para evitar interferencias perjudiciales.
- Regula la coordinación internacional.

---

<sup>13</sup> Ibídem

En los últimos años, el reglamento ha incorporado discusiones sobre la posible utilización de bandas IMT por servicios satelitales, particularmente en el contexto de nuevas tecnologías como D2D. Estas discusiones se desarrollarán en el marco de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2027 (CMR-27).

#### **4.4.5. Comentarios al proyecto D2D dentro de la agenda regulatoria**

El 31 de marzo de 2026 la ANE publicó la versión final del Plan Maestro de Gestión del Espectro y de la Agenda Regulatoria 2026-2027, documento que se articula con la Política de Espectro 2026-2029. Este documento contiene los proyectos regulatorios que la ANE va a ejecutar en los próximos años, incluyendo los lineamientos estratégicos para habilitar la conectividad satelital Direct-to-Device (D2D) en el país. En este sentido se recibieron comentarios a favor del proyecto y algunos que presentaron objeciones al desarrollo del mismo.

En términos generales los comentarios de rechazo o inconformidad se resumen de la siguiente forma:

- **Riesgos de interferencia:** se advierte que la utilización de espectro IMT para servicios satelitales D2D puede generar interferencias no previstas con las redes LTE/NR existentes, degradar indicadores de calidad como latencia y disponibilidad, y trasladar costos de mitigación a los operadores terrestres.
- **Premura regulatoria:** se rechaza una habilitación automática o precipitada antes de que se completen los estudios técnicos en la UIT y se definan condiciones de coexistencia en la CMR-27 (2027). Así, se propone un enfoque de 'estudios primero, habilitación después'.
- **Asimetrías regulatorias y confianza legítima:** se señala que habilitar D2D en bandas IMT antes de CMR-27 comprometería los permisos vigentes, alteraría el entorno técnico y económico bajo el cual fueron otorgados, y podría generar un entorno inequitativo si los operadores satelitales no asumen cargas equivalentes a los operadores terrestres en materia de cobertura, interconexión y protección al usuario.
- **Soberanía espectral:** Se alerta sobre el riesgo de que constelaciones extranjeras operen sin responsabilidad local, erosionando la capacidad del Estado colombiano de regular su propio espectro.
- **Limitaciones técnicas del D2D actual:** Se advierte que la tecnología D2D sobre 4G solo es compatible con algunos dispositivos de alta gama, no soporta 2G/3G y tendría baja adopción real en zonas rurales, por lo que su impacto en la brecha digital sería limitado a corto plazo.

Los comentarios favorables se concentran en lo siguiente:

- Respaldo al cierre de la brecha digital: Se destaca que la tecnología D2D tiene un potencial transformador para conectar territorios de geografía compleja y población dispersa donde las redes terrestres son inviables económicamente. Así, se apoya el complementar redes IMT con soluciones satelitales multi-órbita (GEO, MEO y LEO).
- Habilitación oportuna y proporcional: Se recomienda avanzar con despliegues comerciales apoyándose en la regulación vigente y evitando medidas excesivamente conservadoras como límites demasiado restrictivos o zonas de exclusión que dificulten el despliegue. Se destacan beneficios para resiliencia en emergencias y para aplicaciones IoT en sectores productivos y ambientales.
- Marco regulatorio facilitador: Se propone que el uso de espectro para D2D tenga costos nominales o de recuperación administrativa, y que la regulación evite barreras de entrada. Se solicita también alinear la posición nacional con criterios UIT-R de protección al MSS.
- Implementación gradual mediante pilotos: Se recomienda avanzar con pilotos regulados antes de una habilitación general, lo que permitiría evaluar riesgos de interferencia y condiciones técnicas de coexistencia en el contexto colombiano.
- Alianzas MNO-SNO y competencia leal: Se apoyan modelos de colaboración entre operadores satelitales y móviles, con acceso al espectro IMT a través de licencias de operador móvil (MNO), garantizando que los proveedores satelitales asuman obligaciones equivalentes a los operadores terrestres en materia de impuestos, cobertura y protección al usuario.
- Posicionamiento estratégico de Colombia: Se respalda que Colombia utilice los estudios técnicos como insumo para orientar su participación en la CMR-27 y en la UIT, dotando de seguridad jurídica al ecosistema y facilitando una implementación ordenada del D2D en el país

#### 4.5. **Conclusión**

En conclusión, el marco regulatorio colombiano del espectro radioeléctrico ha sido diseñado bajo una lógica de asignación diferenciada según el tipo de servicio, distinguiendo claramente entre esquemas exclusivos y competitivos para bandas IMT y modelos administrativos para servicios satelitales. Sin embargo, el surgimiento de tecnologías como D2D desafía estas estructuras tradicionales al introducir esquemas híbridos que combinan el uso de espectro IMT con arquitecturas satelitales y modelos de compartición. Esta convergencia genera vacíos regulatorios en materia de asignación, obligaciones, responsabilidades y condiciones técnicas, evidenciando la necesidad de avanzar

hacia un marco que permita articular ambos regímenes de manera coherente, garantizando el uso eficiente del espectro, la protección de los usuarios y la maximización del bienestar social.

## **5. DEFINICIÓN Y ÁRBOL DEL PROBLEMA**

### **5.1. Planteamiento del problema**

El análisis integrado de las secciones anteriores permite identificar una brecha entre la evolución de las necesidades de conectividad en Colombia, el desarrollo reciente de soluciones tecnológicas en el ecosistema de telecomunicaciones y la capacidad del marco regulatorio vigente para responder a dichas transformaciones. Esta brecha se manifiesta en un entorno de incertidumbre que limita la adopción de soluciones innovadoras orientadas a mejorar la cobertura y calidad del servicio, particularmente en zonas rurales y de difícil acceso.

En efecto, la evidencia presentada en la Sección 1 muestra que, si bien Colombia ha logrado avances importantes en términos de cobertura y penetración de servicios de telecomunicaciones, persisten desigualdades significativas en el acceso y la calidad del servicio entre territorios. Estas disparidades son particularmente pronunciadas en zonas rurales, donde la conectividad depende en gran medida de redes móviles. En este contexto, el internet móvil no solo cumple un rol complementario, sino que constituye el principal mecanismo de acceso a servicios digitales de la población.

No obstante, como se documenta en la Sección 1.4, la expansión de redes IMT terrestres enfrenta limitaciones estructurales que restringen su capacidad para cerrar la brecha de conectividad. Factores como la geografía compleja, los altos costos de despliegue y operación, las restricciones en infraestructura de soporte y la baja densidad poblacional en zonas apartadas reducen los incentivos para la inversión privada y limitan la efectividad de las estrategias tradicionales de cobertura. En consecuencia, el modelo basado exclusivamente en redes terrestres presenta rendimientos decrecientes en términos de cobertura adicional.

En este contexto, la Sección 2 introduce la conectividad satelital Direct-to-Device (D2D) como una innovación tecnológica con el potencial de complementar las redes existentes. La posibilidad de establecer comunicaciones directas entre satélites y dispositivos móviles convencionales, sin requerir infraestructura terrestre intermedia, abre nuevas oportunidades para extender la cobertura en zonas donde las soluciones tradicionales pueden no ser viables económicamente. La evidencia técnica disponible sugiere que la coexistencia entre sistemas D2D y redes IMT terrestres es factible bajo determinadas condiciones operativas.

Sin embargo, la implementación de estas soluciones se enfrenta a limitaciones derivadas del marco regulatorio vigente. Tal como se analiza en la Sección 4, el régimen colombiano de gestión del espectro identificado para IMT ha sido históricamente estructurado en torno a asignaciones nacionales exclusivas para operadores móviles terrestres, bajo un enfoque que no contempla explícitamente el uso complementario de este espectro por parte de sistemas satelitales. Esta configuración normativa, sumada a la ausencia de criterios técnicos formalmente establecidos para la coexistencia entre sistemas, genera un entorno de incertidumbre que puede dificultar la toma de decisiones por parte de los actores del sector identificados en la cadena de valor.

En este contexto, el problema que se identifica es el siguiente:

**Incertidumbre técnica y regulatoria sobre las condiciones para la prestación de servicios basados en soluciones satelitales Direct-to-Device a través de espectro identificado para IMT en Colombia.**

## **5.2. Causas del problema**

### **5.2.1. Causas directas**

Una primera causa directa del problema identificado corresponde a la ausencia de parámetros técnicos mínimos definidos para la operación de soluciones D2D en bandas IMT. Los estudios de coexistencia analizados en la Sección 2 evidencian que la interacción entre sistemas satelitales y redes terrestres está condicionada por variables críticas, tales como los niveles de potencia, las distancias de protección, la configuración de canales y los patrones de uso del espectro. Si bien estos estudios muestran que la coexistencia es viable, también

ponen de manifiesto que dicha viabilidad depende de condiciones específicas que requieren ser estandarizadas y formalizadas. En ausencia de estos parámetros, los agentes enfrentan dificultades para evaluar la factibilidad técnica de sus proyectos y para mitigar riesgos asociados a interferencias perjudiciales.

Una segunda causa directa se relaciona con la falta de claridad sobre el régimen de acceso y uso del espectro IMT para soluciones D2D. El análisis del marco normativo vigente muestra que los instrumentos regulatorios actuales no contemplan mecanismos explícitos para habilitar el uso complementario del espectro por parte de sistemas satelitales. La lógica de asignación exclusiva a operadores terrestres, que ha sido efectiva para el desarrollo de precisamente de redes terrestres, no resulta plenamente compatible con modelos híbridos de conectividad en los que múltiples sistemas interactúan sobre las mismas bandas de frecuencia. Como resultado, no existe claridad sobre los derechos, obligaciones y condiciones bajo las cuales se podría acceder a este tipo de espectro para prestar servicios D2D.

Este vacío se confirma en el análisis regulatorio: la Resolución MinTIC 376 de 2022 rige exclusivamente las bandas atribuidas al servicio fijo y móvil por satélite (FSS/MSS), sin contemplar el uso de espectro IMT por sistemas satelitales. Y aunque la propuesta de reglamentación de compartición publicada por el MinTIC en abril de 2026 representa un primer paso, la misma no define las condiciones técnicas ni los derechos de acceso específicos para soluciones D2D sobre bandas IMT.

### 5.2.2. **Causas raíz**

Las causas directas descritas responden, a su vez, a factores de carácter estructural. En primer lugar, el análisis comparado presentado en la Sección 3 muestra que los marcos regulatorios aplicables a la conectividad D2D se encuentran en una fase temprana de desarrollo a nivel internacional. Si bien algunos países han comenzado a explorar esquemas regulatorios para habilitar este tipo de servicios, no existe aún un consenso consolidado sobre las mejores prácticas en materia de coexistencia.

Esta distinción es precisa: mientras las seis jurisdicciones analizadas han adoptado marcos domésticos funcionales, basados en la asignación del espectro al operador móvil terrestre con autorización de uso complementario al operador

satelital, el marco multilateral de referencia permanece en construcción, teniéndose la expectativa de que en la CMR-27 se definan condiciones técnicas y atribuciones espectrales para D2D a nivel global.

En segundo lugar, el modelo histórico de gestión del espectro en Colombia, basado en esquemas de exclusividad y en la segmentación entre servicios terrestres y satelitales, no ha evolucionado al mismo ritmo que las innovaciones tecnológicas descritas en la Sección 2. La convergencia entre redes terrestres y no terrestres introduce la necesidad de revisar estos enfoques tradicionales y de incorporar criterios que permitan un uso más flexible y eficiente del espectro.

Finalmente, la ausencia de lineamientos claros sobre la asignación de responsabilidades entre los actores involucrados en la provisión de servicios D2D constituye un factor adicional de incertidumbre. La cadena de valor de estas soluciones, que involucra a operadores móviles, operadores satelitales, fabricantes de dispositivos y otros agentes, plantea desafíos en términos de coordinación, gestión de interferencias entre otros, los cuales no están plenamente abordados en el marco vigente.

### **5.3. Efectos del problema**

La incertidumbre técnica y regulatoria identificada tiene implicaciones directas sobre el funcionamiento del mercado y sobre el bienestar de los usuarios. En primer lugar, limita la capacidad de los agentes para desarrollar y desplegar soluciones D2D, al incrementar los riesgos asociados a la inversión y reducir la previsibilidad del entorno regulatorio. Esta situación se traduce en una menor dinámica de innovación y en la postergación o no implementación de iniciativas que podrían contribuir a mejorar la cobertura.

El referente cuantitativo disponible confirma la magnitud del riesgo: la GSMA estima que cerrar la brecha de cobertura IMT restante requiere USD 418.000 millones en inversión global, concentrada en zonas rurales remotas. En Colombia, el MinTIC comprometió \$1,7 billones de pesos en el Plan Nacional de Conectividad Rural (2024) para zonas donde el modelo privado no encuentra rentabilidad. La incertidumbre regulatoria sobre D2D restringe la evaluación de alternativas satelitales que podrían reducir esta carga de inversión pública.

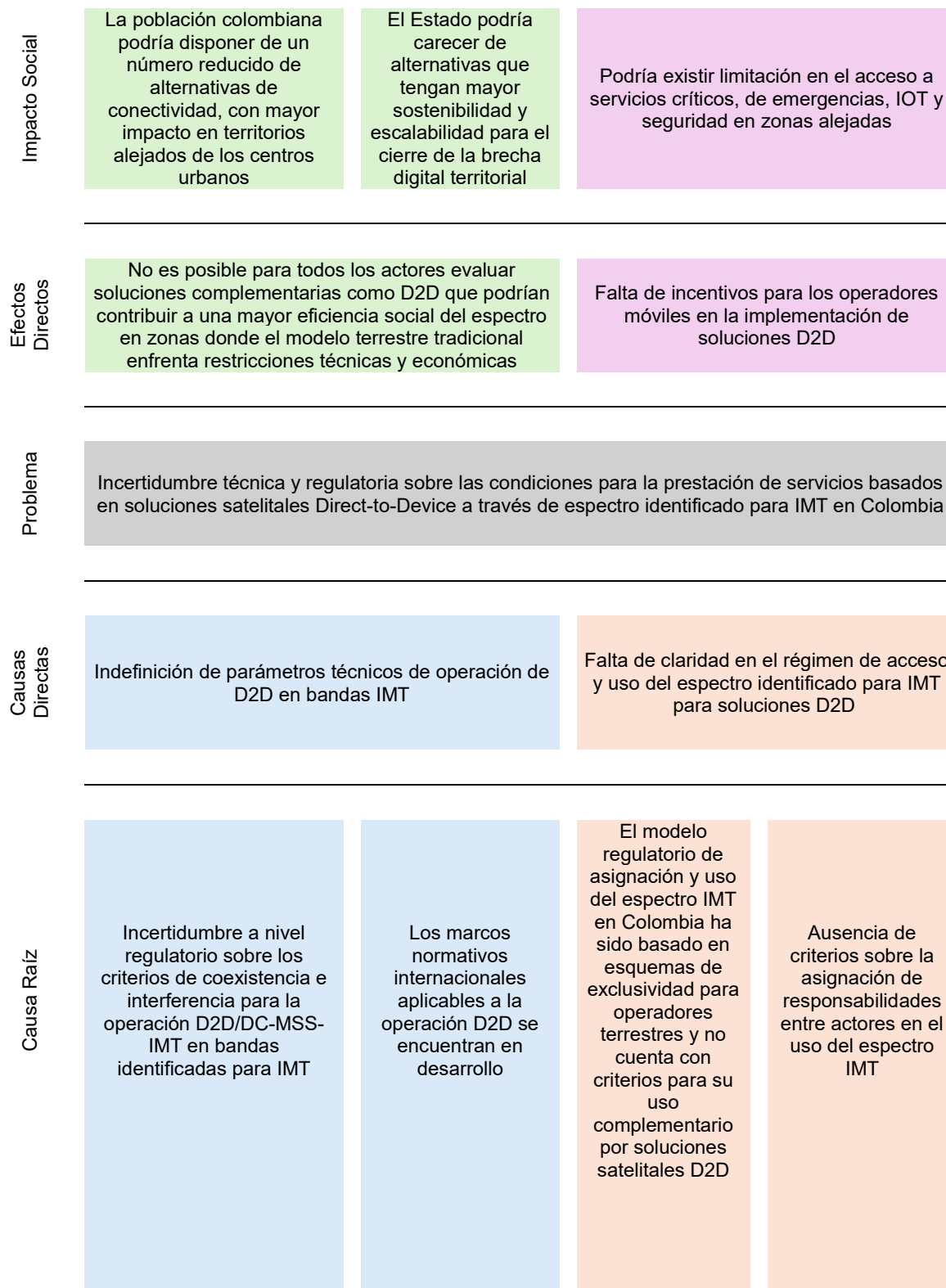
En segundo lugar, la falta de claridad respecto del marco habilitante para la operación de soluciones D2D restringe la disponibilidad de alternativas de conectividad para la población, especialmente en zonas donde las redes terrestres enfrentan mayores limitaciones. En ausencia de estas alternativas, la brecha digital territorial tiende a persistir, lo que afecta de manera significativas a comunidades rurales y apartadas.

La evidencia de la Sección 1 dimensiona esta brecha: Colombia registra la mayor diferencia urbano-rural en velocidad de banda ancha fija entre los países evaluados por la OCDE en 2025, con 106 Mbps de diferencia entre regiones metropolitanas y rurales. En este contexto, la conectividad satelital D2D representa una alternativa que podría ser técnicamente viable para extender servicios en zonas donde la expansión de redes IMT terrestres enfrenta rendimientos decrecientes y costos de despliegue inviables para el sector privado.

Finalmente, la ausencia de estas soluciones tiene consecuencias sobre la disponibilidad de servicios en zonas remotas, incluyendo comunicaciones de emergencia, aplicaciones de Internet de las Cosas y servicios asociados a la seguridad y la gestión del riesgo. La falta de conectividad en estos contextos no solo representa una limitación en términos de acceso a servicios digitales, sino que también puede tener implicaciones sobre la resiliencia de las comunidades y la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia.

Los casos de uso de la Sección 2 ilustran la criticidad: la UIT-R identificó las comunicaciones de emergencia como uso prioritario de los sistemas no terrestres y el 3GPP incorporó desde el Release 17 las especificaciones para NB-IoT satelital orientadas a gestión del riesgo. La ausencia de un marco equivalente en Colombia puede dejar sin respaldo estas aplicaciones críticas.

A continuación, se presenta el árbol del problema identificado:



## 6. CONSULTA PÚBLICA

La ANE está desarrollando el proyecto “Lineamientos Estratégicos para habilitar la conectividad satelital Direct-to-Device (D2D) en el país”, con el que busca realizar un análisis técnico, regulatorio y económico integral sobre la viabilidad del uso del espectro identificado para las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT por sus siglas en inglés) para la operación de soluciones D2D en Colombia.

Para el desarrollo de este proyecto es fundamental la participación de todos los actores interesados en el uso del espectro y conocer su opinión sobre el presente documento, particularmente en lo referente al planteamiento del árbol del problema desarrollado, con el propósito de enriquecer el diagnóstico que sustentará futuras decisiones regulatorias.

### A. Alineación del problema identificado con el diagnóstico

A.1. ¿Considera que la formulación del problema central recoge de manera adecuada las necesidades y hallazgos descritos a lo largo del documento?

Problema

Incertidumbre técnica y regulatoria sobre las condiciones para la prestación de servicios basados en soluciones satelitales Direct-to-Device a través de espectro identificado para IMT en Colombia

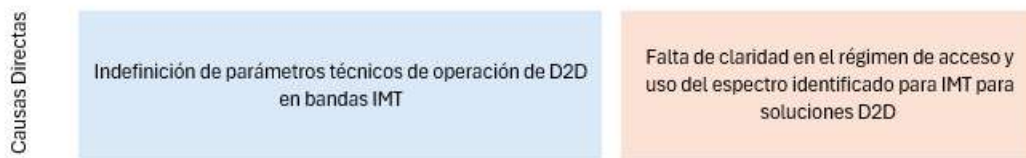
- Si estoy de acuerdo
- No estoy de acuerdo dadas las siguientes consideraciones.

A.2. ¿Qué aspectos del diagnóstico presentado, en su concepto, requieren ajustes adicionales?

A.3. ¿Hay evidencia adicional que debería incluirse en el diagnóstico para fortalecer la caracterización del problema? De ser así, indíquela y explique cómo complementa o ajusta el diagnóstico actual.

### B. Alineación de las causas directas con el problema identificado

B.1. ¿Considera que las causas identificadas tienen una relación directa y verificable con el problema central?



- Si estoy de acuerdo
- No estoy de acuerdo dadas las siguientes consideraciones.

### C. Alineación de las causas raíz con las causas directas

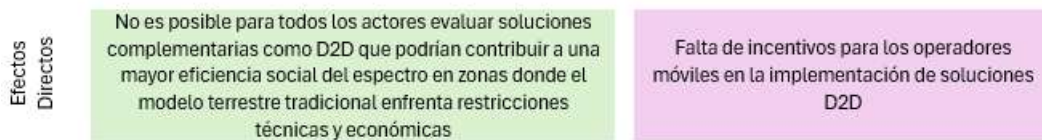
C.1. ¿Considera que las causas raíz identificadas soportan las causas directas relacionadas (teniendo en cuenta el color de cada cuadro)?



- Si estoy de acuerdo
- No estoy de acuerdo dadas las siguientes consideraciones.

### D. Alineación de los efectos directos con el problema central

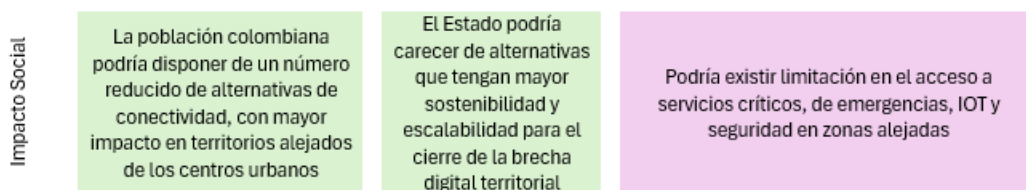
D.1. ¿Considera que los efectos identificados están formulados como consecuencia directa del problema central?



- Si estoy de acuerdo
- No estoy de acuerdo dadas las siguientes consideraciones.

## E. Alineación del impacto social con los efectos directos

E.1. ¿Considera que los elementos identificados como impacto social surgen a causa de los efectos directos mencionados?



- Si estoy de acuerdo
- No estoy de acuerdo dadas las siguientes consideraciones.

## D. Comentarios generales

## Bibliografía

- 3GPP. (2018). Obtenido de <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3372>
- 3GPP. (2018). *Study on scenarios and requirements for next generation access technologies*. 3GPP.
- 3GPP. (2022). <https://www.3gpp.org>. Obtenido de <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-17>
- 3GPP. (2022). <https://www.3gpp.org>. Obtenido de <https://www.3gpp.org/specifications-technologies/releases/release-17>>
- 3GPP. (2022). *Technical Report TR 38.821: Solutions for NR to support Non-Terrestrial Networks (NTN) (Release 16)*. 3GPP.
- 3GPP. (2022). *Technical Specification TS 38.101-5: User Equipment (UE) radio transmission and reception — Part 5: Satellite access*. 3GPP.
- 3GPP. (2023). <https://www.3gpp.org>. Obtenido de <https://www.3gpp.org>: [https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38\\_series/38.821](https://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/38_series/38.821)
- 3GPP. (2023). *TR 36.913 Requirements for further advancements for evolved universal terrestrial Radio Access (e-UTRA)*. 3GPP.
- ACMA. (2024). *Regulatory guide: Operation of an IMT satellite direct-to-mobile service*. Obtenido de Regulatory guide: Operation of an IMT satellite direct-to-mobile service: [https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2025-05/Regulatory%20guide\\_Operation%20of%20an%20IMT%20satellite%20direct-to-mobile%20service\\_0.pdf](https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2025-05/Regulatory%20guide_Operation%20of%20an%20IMT%20satellite%20direct-to-mobile%20service_0.pdf)
- ACMA. (2025). *Regulation of space-based communications systems*. Obtenido de Australian Communications and Media Authority: [https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2025-11/information\\_paper\\_-\\_regulation\\_of\\_space-based\\_communications\\_systems\\_0.pdf](https://www.acma.gov.au/sites/default/files/2025-11/information_paper_-_regulation_of_space-based_communications_systems_0.pdf)
- Amazon. (14 de abril de 2026). <https://www.aboutamazon.com>. Obtenido de <https://www.aboutamazon.com>: <https://www.aboutamazon.com/news/company-news/amazon-globalstar-apple>

- Apple. (2024). Obtenido de <https://support.apple.com>: <https://support.apple.com/es-lamr/101573>
- Association Satellite Industry. (2024). *State of the Satellite Industry Report*.
- AST. (2026). <https://ast-science.com>. Obtenido de <https://ast-science.com>: <https://ast-science.com/next-gen-bluebird/>
- Banco Mundial. (2018). *Gestión del Espectro para el Desarrollo Digital en el Perú*. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefndmkaj/https://documents1.worldbank.org/curated/en/923821563176491393/pdf/Spectrum-Management-for-Digital-Development-in-Peru.pdf>
- Banco Mundial. (2025). <https://datos.bancomundial.org/>. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/>: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?locations=CO>
- DANE. (22 de 04 de 2024). *Encuesta de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en Hogares (ENTIC Hogares)*. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-entic/encuesta-de-tecnologias-de-la-informacion-y-las-comunicaciones-en-hogares-entic-hogares>
- Danny Ramírez, D. d. (2025). <https://ipse.gov.co>. Obtenido de <https://ipse.gov.co>: <https://ipse.gov.co/blog/2025/05/15/columna-del-director-zonas-no-interconectadas-la-urgencia-de-una-transicion-energetica-con-monitoreo-inteligente/>
- ESA. (2023). *Architectures, services, and technologies towards 6G Non-Terrestrial Networks*.
- FCC. (8 de marzo de 2024). *ORDER /DA-24-222A1.pdf*. Washington: FCC. Obtenido de <https://docs.fcc.gov>: <https://docs.fcc.gov/public/attachments/DA-24-222A1.pdf>
- FCC. (marzo de 2024). *Single Network Future: Supplemental Coverage*. Obtenido de <https://docs.fcc.gov>: [https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-24-28A1\\_Rcd.pdf](https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-24-28A1_Rcd.pdf)
- FCC. (2024). *Supplemental Coverage from Space FCC 24-28*. Obtenido de <https://docs.fcc.gov/public/attachments/FCC-24-28A1.pdf>

- FCC. (2025). *Federal Communications Commission (FCC). SpaceX Gen3 Starlink satellite authorization: FCC filing SAT-LOA-20250916-00282.*
- GSMA. (2024). *State of mobile internet connectivity*. GSMA.
- GSMA. (2025). *The state of mobile internet coverage and infrastructure*. GSMA.
- <https://starlink.com/>. (2025). Obtenido de [https://starlink.com/files/DIRECT\\_TO\\_CELL\\_SERVICE\\_FEB\\_25.pdf?srsltid=AfmBOoonc7CME3dC\\_B-QD12HLBU7ILi0WyKqN91d-qNsuZc\\_Zn3N9eSW](https://starlink.com/files/DIRECT_TO_CELL_SERVICE_FEB_25.pdf?srsltid=AfmBOoonc7CME3dC_B-QD12HLBU7ILi0WyKqN91d-qNsuZc_Zn3N9eSW)
- ISED. (2025). *Decision on a Policy, Licensing and Technical Framework for Supplemental Mobile Coverage by Satellite*. Obtenido de Innovation, Science and Economic Development Canada: <https://ised-isde.canada.ca/site/spectrum-management-telecommunications/en/learn-more/key-documents/consultations/decision-policy-licensing-and-technical-framework-supplemental-mobile-coverage-satellite>
- ITU. (2020). *Reglamento de Radiocomunicaciones Artículos*. Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
- ITU. (2021). *Recomendación ITU-R P.526-15: Propagation by diffraction*. ITU.
- ITU. (2021). *Recomendación ITU-R P.833-10: Attenuation in vegetation*. ITU.
- Katz, R., & Callorda, F. (2018). The economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation. *ITU Publications*.
- Katz, R., & Pantelis, K. (2012). The Economic Impact of Telecommunications in Senegal. *Communications & Strategies*.
- Klemperer, P. (2002). *What Really Matters in Auction Design.* " *The Journal of Economic Perspectives*. Obtenido de JSTOR: <http://www.jstor.org/stable/2696581>
- Koutroumpis, P. (2009). The economic impact of broadband on growth: A simultaneous approach. *Telecommunications Policy*, 471–485. doi:10.1016/j.telpol.2009.07.004
- MinTIC. (2023). *RESOLUCIÓN 3617*. BOGOTÁ: MinTIC.
- MinTIC. (2024). <https://mintic.gov.co>. Obtenido de <https://mintic.gov.co>: <<https://mintic.gov.co/porta/715/w3-article-338208.html>>

- MinTIC. (2024). *Plan Integral de Expansión de Conectividad Digital*. Obtenido de Ministerio de Tecnologías de Información y las Comunicaciones: <https://mintic.gov.co/micrositios/PlanConectividadDigital/870/w3-channel.html>
- NovaSpace. (2025). *NovaSpace*. Obtenido de Direct-to-device: How satellite connectivity is transforming global connectivity: <https://nova.space/in-the-loop/direct-to-device-how-satellite-connectivity-is-transforming-global-connectivity/>
- NTIA. (2022). *Economics of broadband networks*. US DEPARTMENT OF COMMERCE.
- OCDE. (2025). *Closing Broadband Connectivity Divides for All: From Evidence to Practice*, OECD Publishing. Paris.
- OECD. (2017). *The evolving role of satellite networks in rural and remote broadband access*.
- OECD. (2022). *Developments in spectrum management for communication services*. Obtenido de [https://www.oecd.org/en/publications/developments-in-spectrum-management-for-communication-services\\_175e7ce5-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/developments-in-spectrum-management-for-communication-services_175e7ce5-en.html)
- OFCOM. (2025). *Enabling satellite Direct to Device services in Mobile spectrum bands*.
- Ookla. (22 de 04 de 2026). *Ookla's Speedtest Methodology*. Obtenido de <https://www.ookla.com/resources/guides/speedtest-methodology>
- PATENTC. (2024). *5G infrastructure costs: What telcos are paying*.
- Portulans Institute. (22 de 04 de 2026). *Network Readiness Index 2025*. Obtenido de Network Readiness Index 2025: <https://networkreadinessindex.org/>
- Röller, L.-H., & Waverman, L. (2001). Telecommunications Infrastructure and Economic Development: A Simultaneous Approach. *The American Economic Review*, 909-923.
- sateliot. (2023). <https://sateliot.space>. Obtenido de <https://sateliot.space/2023/04/15/sateliot-successfully-launched-the-groundbreaker-the-first-ever-satellite-under-5g-standard-to-democratize-iot-via-spacex-falcon-9/>
- SEC. (s.f.). Obtenido de <https://www.sec.gov/cgi-bin/browse-edgar?action=getcompany&CIK=ASTS&type=10-K>

Semana. (2026). *<https://www.semana.com>*. Obtenido de <https://www.semana.com>: [https://www.semana.com/mejor-colombia/articulo/inversion-en-conectividad-del-mintic-alcanzo-los-33-billones-y-amplio-el-acceso-en-zonas-rurales/202616/#google\\_vignette](https://www.semana.com/mejor-colombia/articulo/inversion-en-conectividad-del-mintic-alcanzo-los-33-billones-y-amplio-el-acceso-en-zonas-rurales/202616/#google_vignette)

SKYLO. (2024). *<https://www.skylo.tech/newsroom>*. Obtenido de <https://www.skylo.tech>: <https://www.skylo.tech/newsroom/skylo-launches-its-direct-to-device-service-in-the-us-canada>

SPACE X. (2023). *SPACEX GEN2 DIRECT-TO-CELLULAR SYSTEM-ATTACHMENT A*.

Starlink. (2025). *Starlink direct to cell service: Commercial launch and technical overview*. .

Subtel. (2025). *Chile es el primer país de Latinoamérica en conectar celulares directo a satélites*. Obtenido de <https://www.subtel.gob.cl/chile-es-el-primer-pais-de-latinoamerica-en-conectar-celulares-directo-a-satelites>

T-MOBILE. (2022). *<https://www.t-mobile.com>*. Obtenido de <https://www.t-mobile.com>: <https://www.t-mobile.com/news/un-carrier/t-mobile-takes-coverage-above-and-beyond-with-spacex>

Unión Europea. (2025). *Satellite Connectivity Solutions for Colombia*. Knowledge Hub Digital.

universidad ICESI. (2025). *Estudio técnico de convivencia para la utilización sin interferencias perjudiciales del Servicio Móvil por Satélite (SMS) en las bandas de frecuencia en las que operan las redes IMT terrestres en Colombia — Entregable Final*. Cali.