UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

"ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA CONCESIÓN Y USO DEL ESPECTRO DE REDES 5G EN ECUADOR Y SUDAMÉRICA"

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Telecomunicaciones

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:

Michael Alejandro Irua Riofrio

DIRECTOR:

Ing. Carlos Alberto Vásquez Ayala, Msc

Ibarra, Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Michael Alejandro Irua Riofrio

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ESTUDIO COMPARATIVO DE LOS REQUERIMIENTOS PARA LA CONCESIÓN Y USO DEL ESPECTRO DE REDES 5G EN ECUADOR Y SUDAMÉRICA.
AUTOR (ES):	MICHAEL ALEJANDRO IRUA RIOFRIO
FECHA: DD/MM/AAAA	23/07/2026
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	■ **PREGRADO** □ **POSGRADO**
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
DIRECTOR / ASESOR	MSC. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA / MSC. JAIME GUSTAVO ALVARADO SANCHEZ

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de julio del 2026

EL AUTOR:



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
MICHAEL ALEJANDRO
IRUA RIOFRIO

Michael Alejandro Irua Riofrio

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 23 de julio de 2026

ING. CARLOS ALBERTO VÁSQUEZ AYALA, MSC

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALBERTO VASQUEZ AYALA

(f) …….

Ing. Carlos Alberto Vásquez Ayala, Msc

C.C.: 1002424982

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios y a la Santísima Virgen de las Lajas. El Creador siempre conmigo ha sido mi gran amigo; le agradezco con el alma por ser mi luz, mi amparo y darme las fuerzas para superar cada obstáculo en este camino universitario. Su presencia fue el impulso silencioso que me sostuvo en los momentos más difíciles.

A mi madre, Graciela, por su amor incondicional y ternura. Te agradezco con el alma por tu compañía en mis noches de desvelo y por ser esa presencia dulce que alivió mis preocupaciones en este trayecto. Tu entrega hizo posible que hoy cumpla esta meta.

A mi padre, Carlos, por ser mi ejemplo de honestidad y perseverancia, enseñándome a trabajar duro por lo que se quiere con el corazón. A ambos, mis padres, les agradezco por enseñarme que aun cuando el temor intente frenarnos, debemos avanzar, demostrando que, aunque sea con miedo, pero lo hacemos. Este éxito es de ustedes.

A mi hermana, Brigitte, porque con su fuerza de carácter me enseñó que nada es fácil en la vida y que hay que luchar duro y con paciencia. Tu apoyo ha sido fundamental para mí.

A mis dos ángeles en el cielo: A mi querido Javier, cuyas enseñanzas y guía siguen intactas en mi memoria; hoy cumplo aquello que un día soñamos juntos, sé que celebras conmigo. Y a mi abuelito Luis, quien desde el cielo me cuida, me bendice y me da las fuerzas para seguir adelante.

A mis mejores amigos, Lidia y Jamir, por su lealtad y por demostrarme el verdadero valor de la amistad al estar pendientes de mí y de cómo me iba paso a paso en este proceso.

Finalmente, dedico este triunfo a mi familia, abuelitos maternos, tíos y primos, quienes me brindaron su apoyo moral, sus consejos y su confianza desde el primer momento.

Michael Alejandro Irua Riofrio

ARADECIMIENTO

Expreso mi profunda gratitud, en primer término, a toda mi familia. Su respaldo incondicional y sacrificios diarios se convirtieron en el verdadero impulso que me sostuvo a lo largo de estos años de estudio; gracias por mantener una fe inquebrantable en mí y por brindarme el refugio necesario en las etapas de mayor presión.

De manera muy especial, manifiesto mi agradecimiento al MSc. Carlos Vásquez, tutor de este Trabajo de Integración Curricular, por su invaluable dirección, por transmitir de manera generosa su experiencia y por la paciencia demostrada en cada revisión. Asimismo, extiendo este agradecimiento al MSc. Jaime Alvarado, en su calidad de asesor de este proyecto, por sus oportunas observaciones, su rigurosa orientación académica y el apoyo constante brindado para llevar este trabajo a feliz término.

A mis compañeros y amigos: Becker, Karen, Jordan, Francisco, Pablo y Chenoa. Gracias por las jornadas compartidas, el apoyo mutuo y por hacer de esta etapa universitaria un camino lleno de vivencias memorables, aprendizaje compartido y un trayecto mucho más llevadero.

Finalmente, mi reconocimiento institucional a la Universidad Técnica del Norte y a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, por abrirme sus puertas y permitir mi formación. De igual manera, agradezco a los docentes de la carrera por compartir sus conocimientos esenciales para mi desarrollo profesional, y a cada una de las personas que, de forma directa o indirecta, aportaron positivamente durante mi paso por las aulas.

Michael Alejandro Irua Riofrio

RESUMEN EJECUTIVO

Esta investigación analiza qué tan viable es implementar redes 5G en Ecuador en las áreas técnica, regulatoria y económica. Para comparar nuestra realidad con los procesos ya avanzados en Colombia y Perú, el estudio utiliza subindicadores específicos que miden las normativas de concesión, la agilidad de los trámites, la eficiencia de las frecuencias, la infraestructura de red y los costos de inversión del sector. El diagnóstico inicial demuestra que las leyes actuales en el país se quedaron pensadas para el 4G, creando vacíos legales y trabas en los municipios al momento de instalar las miles de antenas pequeñas que el 5G exige.

Al evaluar el panorama local con estos subindicadores, se destaca el reciente paso dado con la renovación de los contratos de concesión hasta 2038. Este acuerdo asegura una inversión de USD 1.550 millones entre Claro y la nueva administración de Tigo (OTECEL S.A), e incluye la entrega del 1% de sus ventas anuales a un fideicomiso nacional para financiar proyectos de educación, becas y tecnología. Sin embargo, el análisis técnico y económico concluye que el despliegue del 5G en Ecuador no es sostenible a corto plazo si se enfoca en el mercado residencial común, debido al bajo consumo de los usuarios. La estrategia más viable es priorizar redes privadas para automatizar las industrias de exportación que sostienen la economía, como los puertos de Guayaquil y Posorja, los campos petroleros y los sectores bananero y florícola, complementando la primera fase de antenas ya encendidas por la empresa pública CNT.

.

Palabras clave: Redes 5G, Espectro Radioeléctrico, Regulación de Telecomunicaciones, Contratos de Concesión, Banda 3.5 GHz, Infraestructura Compartida, Fideicomiso Tecnológico, Automatización Industrial.

ABSTRACT

This research analyzes the technical, regulatory, and economic feasibility of implementing 5G networks in Ecuador. To contrast the domestic reality with the more advanced deployment processes in Colombia and Peru, this study utilizes specific sub-indicators to measure spectrum concession regulations, bureaucratic agility, frequency efficiency, network infrastructure, and sector investment costs. The initial diagnosis demonstrates that the current national regulatory framework remains tailored to 4G technologies, thereby creating legal vacuums and municipal hurdles when deploying the thousands of small cells required by 5G networks.

By evaluating the domestic landscape through these sub-indicators, the study highlights a significant milestone with the renewal of mobile concession contracts until 2038. This agreement secures an investment of USD 1.55 billion between Claro and the new administration of Millicom (Tigo), and establishes a 1% annual revenue contribution to a national trust fund destined for education, scholarships, and technology projects. However, the technical and economic analysis concludes that 5G deployment in Ecuador is unsustainable in the short term if focused on the standard residential consumer market due to low average user demand. Consequently, the most viable strategy is to prioritize private networks designed to automate the export industries that drive the national economy such as the ports of Guayaquil and Posorja, oil fields, and the banana and flower sectors thereby complementing the initial phase of 5G nodes already activated by the public operator CNT.

Keywords: 5G Networks, Radio Spectrum, Telecommunications Regulation, Concession Agreements, 3.5 GHz Band, Shared Infrastructure, Technology Trust Fund, Industrial Automation

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES 15

1.1 Problema 15

1.2 Objetivos 16

1.2.1 Objetivo General 16

1.2.2 Objetivos Específicos 16

1.3 Alcance 17

1.4 Justificación 19

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 21

2.1 Evolución de las Tecnologías de Comunicaciones Móviles 21

2.1.1 Generaciones de Redes Móviles (4G a 5G) 21

2.2.3.1 Descripción de parámetros clave: Latencia, rendimiento (Throughput), densidad de dispositivos y eficiencia energética. 21

2.1.2 Comparación entre 4G y 5G: Capacidad y Cobertura 23

2.2.3.2 Estado situacional de la cobertura 4G en Ecuador y nodos experimentales 5G 24

2.1.3 La ITU y la estandarización de 5G: Especificaciones del estándar IMT-2020 . 27

2.2 Tecnología 5G (Enfoque de Ingeniería) 28

2.2.1 Arquitectura de la Red 5G: Diferencias entre arquitecturas NSA y SA 28

2.2.2 Métodos de Acceso y Tecnologías Habilitadoras: Massive MIMO, Beamforming y Network Slicing (Segmentación de red) 30

2.2.3 Importancia Crítica de la Banda de 3.5 GHz: 31

2.2.3.1 Propiedades de propagación y ancho de banda 32

2.2.3.2 El proceso de "Limpieza de Espectro" (Banda C) 32

2.3 Casos de Uso e Impacto de 5G (Enfoque de Aplicación) 32

2.3.1 Evolución funcional: 33

2.3.2 Aplicaciones en Perú 35

2.3.3 Aplicaciones en Colombia 35

2.3.4 Aplicaciones y Beneficios Esperados en Ecuador 35

2.3.5 Desarrollo de Ciudades Inteligentes en Ecuador 36

2.4 Regulación y Gestión del Espectro Radioeléctrico (Enfoque LEGAL - ECONÓMICO)..... 37
2.4.1 Fundamento técnico–jurídico..... 37
2.4.2 Relación con IMT-2020..... 38
2.4.3 Enfoque comparativo regional..... 38
2.4.4 Conexión directa con Ecuador..... 39
2.4.5 Comparación de Oportunidades entre Perú, Colombia y Ecuador..... 39
2.4.6 Marco Regulatorio Internacional y Nacional..... 41
2.4.6.1 Perú..... 41
2.4.6.2 Colombia..... 42
2.4.6.3 Estados Unidos (FCC)..... 43
2.4.7 Conceptualización técnica de 5g en Ecuador..... 44
2.4.7.1 Asignación de Bandas de Frecuencia para 5G en Ecuador..... 44
2.4.7.2 Desafíos en la Gestión del Espectro y Barreras Regulatorias..... 45
2.4.7.3 Infraestructura Actual y Necesidades de Inversión..... 45
2.4.7.4 Barreras Técnicas y Económicas para el Despliegue de 5G..... 46
2.4.7.5 Impacto de 5G en el Sector Público y Privado en Ecuador..... 46
2.4.7.6 Comparación Internacional de la Implementación de 5G..... 47
2.4.7.7 Progresos en América Latina (Perú, Colombia)..... 47
2.4.8 Lecciones y Modelos de Éxito para el Despliegue de 5G..... 48
2.4.9 Estrategias del Gobierno y las Empresas de Telecomunicaciones..... 50
2.4.10 Tendencias Recientes y Evolución del Despliegue Técnico..... 51
CAPÍTULO III: ANÁLISIS INTEGRAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y EL MARCO REGULATORIO PARA REDES 5G EN ECUADOR..... 53
3.1 Eje Normativo: Marco Regulatorio y Concesión de Espectro..... 53
3.1.1 Identificación del marco legal vigente y particularidades frente al 4G..... 54
3.1.2 Seguridad jurídica y títulos habilitantes (2038)..... 55
3.1.2.1 Impacto de las concesiones y valoración del espectro..... 55
3.1.3 Fuentes y variables del análisis normativo..... 56
3.1.4 Síntesis de los hallazgos normativos..... 57
3.2 Eje Técnico: Gestión del Espectro e Infraestructura..... 58
3.2.1 Estado de limpieza y disponibilidad de la banda 3.5 GHz..... 58
3.2.2 Parámetros de sincronización y arquitectura de red..... 59

3.2.3 Variables técnicas e indicadores de desempeño 61
3.2.4 Síntesis de hallazgos técnicos 61
3.3 Eje Económico: Dinámica de Mercado y Modelos de Inversión 62
3.3.1 Modelo de Asignación y Costos: El incentivo al despliegue 63
3.3.2 Dinámica de Mercado: Asequibilidad y Penetración 63
3.3.3 Impacto Sectorial y Retorno de Inversión 65
3.3.4 Variables económicas e indicadores de desempeño 66
3.3.5 Síntesis de hallazgos económicos 67
3.4 Análisis Comparativo Preliminar: Brecha Tecnológica frente a los Modelos de Colombia y Perú 68
3.4.1 El modelo de adjudicación por subasta en Colombia (2023) y sus obligaciones de cobertura rural 68
3.4.2 El esquema de neutralidad tecnológica y asignación en la banda de 3.5 GHz en Perú 69
3.4.3 Matriz de Benchmarking Regional y evaluación de subindicadores normativos, técnicos y económicos 71
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PARA LA ADOPCIÓN DE REDES 5G EN ECUADOR 75
4.1 Introducción y Enfoque Metodológico Propositivo 75
4.2 Análisis Técnico-Regulatorio por Subindicadores: Oportunidades y Desafíos. 76
4.2.1 Matriz FODA del Indicador Normativo 76
4.2.2 Matriz FODA del Indicador Técnico 77
4.2.3 Matriz FODA del Indicador Económico 78
4.3 Matrices Estratégicas para la Adopción de Redes 5G en Ecuador 78
4.3.1 Matriz de Propuestas y Oportunidades de Mejora para el País 79
4.3.2 Matriz de Desafíos y Nuevos Contextos Técnicos-Regulatorios 80
4.4 Síntesis y Diagnóstico Final del Capítulo 83
4.4.1 Matriz Conclusiva de Viabilidad Estratégica 83
4.4.2 Recomendaciones Estratégicas por Subindicador 84
CONCLUSIONES 86
RECOMNEDACIONES 88

BIBLIOGRAFÍA.....90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Árbol de Problemas* 16

Figura 2. *Diagrama de bloques de las fases metodológicas* 18

Figura 3. *Mapa de cobertura Servicio Móvil Avanzado* 25

Figura 4. *Arquitectura de referencia de la red 5G según 3GPP* 29

Figura 5. *Puntuación de la madurez digital respecto al Ecuador* 64

Figura 6. *Evaluación comparativa por dimensiones del desarrollo 5G entre Ecuador, Colombia y Perú.* 73

Figura 7. *Matriz FODA del Indicador Normativo* 76

Figura 8. *Matriz FODA del Indicador Técnico* 77

Figura 9. *Matriz FODA del Indicador Económico* 78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Tabla Comparativa de Desempeño Técnico: 4G vs. 5G*.....24

Tabla 2. *Comparativa de Cobertura y Desempeño en Ecuador*.....26

Tabla 3. *Comparativa Técnica: Modalidades de Despliegue*.....30

Tabla 4. *Tipos de acceso y tecnologías habilitadoras en 5G*.....31

Tabla 5. *Evolución funcional estructural de 4G a 5G*.....34

Tabla 6. *Enfoques de gestión del espectro 5G en países seleccionados*.....39

Tabla 7. *Comparación de estrategias y oportunidades de 5G en Perú, Colombia y Ecuador*

.....40

Tabla 8. *Casos de éxito y progreso 5G: Perú y Colombia (implicaciones para Ecuador)* ...48

Tabla 9. *Lecciones y modelos de éxito aplicables al despliegue 5G en Ecuador*.....49

Tabla 10. *Síntesis de hallazgos normativos*.....57

Tabla 11. *Síntesis de hallazgos técnicos*.....62

Tabla 12. *Matriz de Oportunidades por Sector Estratégico*.....65

Tabla 13. *Síntesis de hallazgos económicos*.....67

Tabla 14. *Matriz de indicadores para el análisis comparativo 5G*.....72

Tabla 24. *Matriz de propuestas y oportunidades de mejora basadas en la región*.....79

Tabla 25. *Matriz de desafíos operativos, riesgos y acciones de mitigación*.....81

Tabla 26. *Matriz conclusiva de viabilidad estratégica para el despliegue de 5G*.....83

Tabla 27. *Recomendaciones para el despliegue de 5G en Ecuador*.....85

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1 Problema

En Ecuador, la ausencia de implementación de redes 5G plantea un desafío significativo para el desarrollo de las telecomunicaciones avanzadas. Esta tecnología es crucial para satisfacer las crecientes demandas de conectividad en sectores como el Internet de las Cosas (IoT), la automatización industrial y la telemedicina, gracias a su capacidad para ofrecer alta velocidad de transmisión, baja latencia y mayor eficiencia espectral (Panwar et al., 2015).

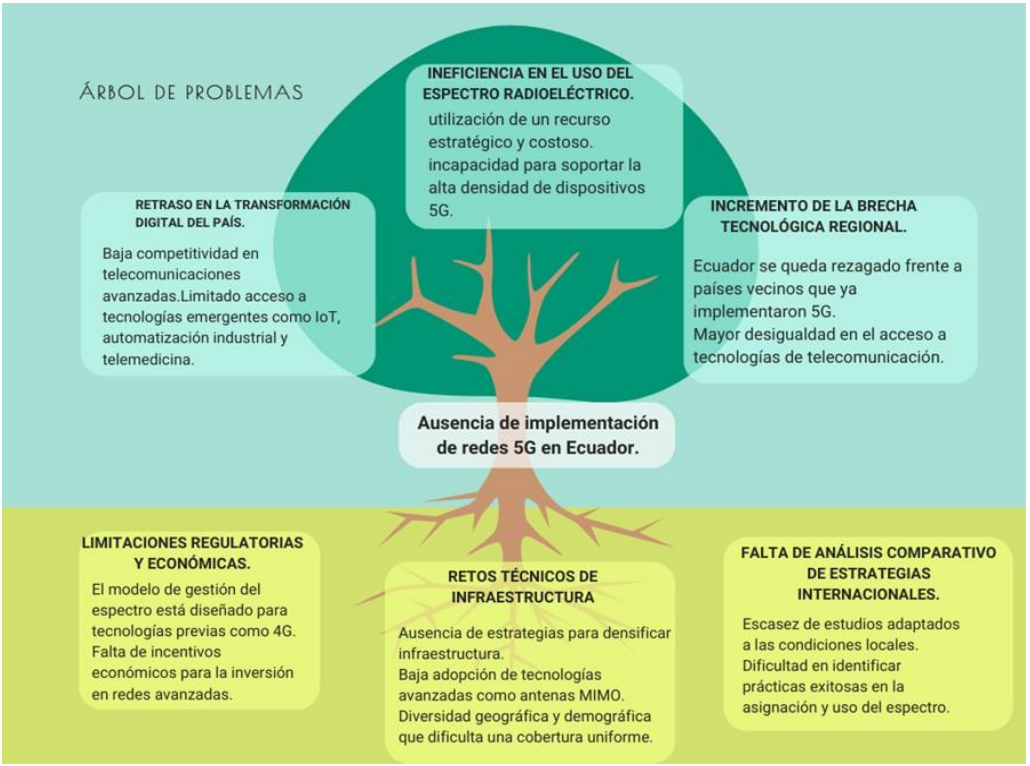
Sin embargo, el país enfrenta limitaciones regulatorias, técnicas y económicas que obstaculizan el aprovechamiento del espectro radioeléctrico, un recurso estratégico y costoso. La gestión del espectro en Ecuador sigue un modelo diseñado para tecnologías previas, como 4G, lo que limita su eficiencia para soportar la alta densidad de dispositivos y estaciones base que exige 5G (Bauer & Bohlin, 2022). Además, la falta de estrategias específicas para densificar la infraestructura y adoptar tecnologías avanzadas, como antenas masivas (MIMO), agrava los retos técnicos (Andrews et al., 2014a); (Vamvakas et al., 2019).

Este contexto se complica aún más debido a la diversidad geográfica y demográfica del país, que dificulta el acceso equitativo y la cobertura uniforme (Gupta, 2024). En la Figura 1 se evidencia una síntesis de los desafíos mencionados anteriormente.

Un análisis comparativo de los enfoques adoptados en países que ya implementaron 5G resulta imprescindible para identificar prácticas exitosas en la asignación y uso del espectro, desarrollo de infraestructura y diseño de marcos regulatorios. La falta de tales análisis en el contexto ecuatoriano dificulta la formulación de estrategias adaptadas a las condiciones locales, lo que podría retrasar aún más la implementación de 5G.

Figura 1.

Árbol de Problemas



Nota: La Figura muestra los desafíos regulatorios, técnicos y económicos que enfrenta Ecuador para implementar redes 5G.

Por tanto, este estudio busca abordar la problemática de la optimización del espectro y la planificación de infraestructura necesaria para redes 5G en Ecuador, fundamentándose en experiencias internacionales. Esto permitirá sentar las bases para un despliegue eficiente, sostenible e inclusivo, promoviendo la competitividad del país en el ámbito de las telecomunicaciones avanzadas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Proponer recomendaciones técnicas para el uso del espectro en redes 5G en Ecuador, enfocándose en la creación de políticas públicas eficientes en telecomunicaciones.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar el marco regulatorio vigente en Ecuador para la concesión y uso del espectro

en redes 5G, destacando sus particularidades frente a las redes previas como 4G.

- Examinar los aspectos técnicos, normativos y económicos que influyen en la concesión del espectro radioeléctrico en Ecuador para la implementación de redes 5G.
- Comparar los modelos de asignación de frecuencias y concesión del espectro empleados en Sudamérica, específicamente en Colombia y Perú, donde ya se han implementado redes 5G.
- Evaluar las oportunidades y desafíos para la adopción de redes 5G en Ecuador a partir de un análisis comparativo.

1.3 Alcance

El presente trabajo de titulación se limita al análisis de los requerimientos técnicos, normativos y económicos para la concesión y el uso del espectro radioeléctrico enfocado en redes 5G en el contexto ecuatoriano. La investigación busca determinar la viabilidad de esta transición tecnológica tomando como referencia las mejores prácticas y lecciones aprendidas de las experiencias previas en Colombia y Perú.

En el aspecto temático, el estudio se centra en las bandas de frecuencia recomendadas para el despliegue de 5G por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, priorizando la banda de 3.5 GHz debido a su relevancia global (GSMA Intelligence, 2023). Este análisis se divide en tres dimensiones específicas: la normativa, que examina los procesos de concesión y las barreras de tramitología local; la técnica, orientada a evaluar las interferencias y la necesidad de densificación de antenas; y la económica, que analiza los modelos de inversión y la capacidad de pago del mercado.

Con el fin de delimitar el campo de acción de la propuesta, se aclara que la investigación no contempla el diseño de ingeniería de detalle de redes de telecomunicaciones, la simulación de cobertura mediante software especializado, ni la ejecución de pruebas experimentales en

campo. De igual manera, el alcance de este documento se limita a proponer recomendaciones y lineamientos estratégicos aplicables al entorno nacional, por lo que no se incluye la redacción formal de cuerpos legales o reglamentos estatales.

La metodología aplicada es de tipo descriptiva y comparativa con un enfoque mixto, utilizando información pública oficial de organismos de control como la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones de Ecuador y las entidades reguladoras homólogas de los países vecinos. Este proceso estructurado y la secuencia lógica de las etapas de investigación para el cumplimiento de los objetivos se detallan de forma gráfica en la Figura 2, que presenta el diagrama de flujo de las fases metodológicas desarrolladas en este estudio.

Figura 2.

Diagrama de bloques de las fases metodológicas



Nota. El diagrama resume la secuencia metodológica del proyecto, desde la revisión documental y el diagnóstico comparativo, pasando por la evaluación FODA, hasta la formulación de las recomendaciones estratégicas para el despliegue del 5G en Ecuador.

1.4 Justificación

La transición hacia redes 5G en Ecuador constituye una oportunidad estratégica para modernizar el sector de telecomunicaciones, potenciar la conectividad y cerrar brechas tecnológicas que actualmente limitan el desarrollo socioeconómico del país. En este escenario, la optimización del uso del espectro radioeléctrico, un recurso limitado y costoso, se posiciona como un factor clave para garantizar un despliegue eficiente, sostenible y equitativo de esta tecnología avanzada (ITU, 2021). Este análisis no solo permitirá maximizar el aprovechamiento del espectro, sino también fomentar el desarrollo de infraestructura tecnológica adecuada para las demandas del siglo XXI (Gupta, 2024).

La implementación de un marco regulatorio robusto y adaptado a las necesidades locales es esencial para gestionar las bandas de frecuencia de manera eficiente y promover la interoperabilidad entre operadores (ETSI, 2022). Según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), una asignación estratégica del espectro mejora el rendimiento de las redes, fomenta la innovación tecnológica y permite la entrada de operadores móviles virtuales (OMV), incrementando la competencia y diversificando la oferta de servicios (ITU, 2021). Además, al alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 10 (Reducción de las Desigualdades), se puede garantizar un acceso inclusivo y eficiente a las redes móviles avanzadas en todo el territorio ecuatoriano (United Nations, 2019).

El despliegue de redes 5G en Ecuador no es solo un salto en velocidad, sino la infraestructura base para masificar el Internet de las Cosas (IoT), automatizar procesos industriales y habilitar servicios de baja latencia como la telemedicina. Para que estas tecnologías funcionen, el país necesita alinear su normativa con los estándares internacionales (como los de la UIT), lo que permitiría atraer inversión en infraestructura y mejorar la competitividad del sector. Si no se armonizan las reglas de uso del espectro, será difícil que la

innovación local compita en un mercado global ya digitalizado (Gsma, 2025).

En este trabajo se realiza un análisis comparativo de cómo se está gestionando el espectro en la región para identificar qué modelos de implementación han funcionado mejor. La idea es generar datos técnicos y estratégicos que sirvan de base para diseñar políticas públicas reales. Al final, lo que se busca es entregar herramientas técnicas para una mejor planificación y regulación, ayudando a que Ecuador tome decisiones informadas y no se quede rezagado en la adopción de tecnologías de telecomunicaciones avanzadas.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Evolución de las Tecnologías de Comunicaciones Móviles

La evolución de las comunicaciones móviles ha transformado la manera en que las personas se conectan y acceden a la información. Entre la cuarta y quinta generación (4G y 5G) destacan avances en velocidad, latencia y capacidad de conexión. La comparación de sus características permite identificar beneficios, limitaciones y los retos que impulsaron la transición hacia una conectividad más robusta, esencial para el desarrollo de nuevas aplicaciones y servicios digitales en diversos sectores.

2.1.1 *Generaciones de Redes Móviles (4G a 5G)*

La evolución de las redes móviles desde 4G (LTE) hacia 5G (NR) no se limita a un incremento en la velocidad de transmisión, sino que implica una transformación en la arquitectura de red, la eficiencia espectral y el modelo de servicios soportados. Mientras 4G fue optimizada principalmente para banda ancha móvil (eMBB), 5G introduce además comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (URLLC) y conectividad masiva tipo IoT (mMTC), ampliando significativamente el rango de aplicaciones posibles (De León, 2022).

2.2.3.1 Descripción de parámetros clave: Latencia, rendimiento (Throughput), densidad de dispositivos y eficiencia energética.

Para entender por qué el 5G es un cambio tan grande, hay que mirar los números que definen cómo se comporta la red. No es solo que el internet vuele, es que la infraestructura completa cambia sus reglas de juego en varios puntos más importantes:

- **Velocidad de transmisión (Throughput):** Con el 4G LTE estamos acostumbrados a picos teóricos de 1 Gbps, pero eso es en condiciones de laboratorio. En la calle, la realidad es otra. El 5G NR (New Radio) apunta a llegar hasta los 20 Gbps usando

bandas más altas y antenas Massive MIMO. Claro que esto depende de cuánto ancho de banda se libere (como los bloques de 100 MHz en la banda de 3.5 GHz) y de qué tan cerca estés de la antena.

- **Latencia**: Este es el tiempo que tarda un dato en ir y volver. En 4G lo normal es entre los 30 y 50 ms, que está bien para Netflix, pero no para jugar en línea o manejar un brazo robótico. El objetivo del estándar 5G es bajar eso a 1 ms. Sin embargo, como las primeras redes (arquitectura NSA) todavía usan el "cerebro" del 4G, lo que estamos viendo hoy son latencias de entre 5 y 15 ms, que igual ya es una mejora notable (Dahlman et al., 2020).
- **Cantidad de dispositivos conectados:** El 4G soporta unos 100,000 equipos por cada km^2 antes de saturarse. El 5G sube esa apuesta hasta 1 millón de dispositivos. Esto es clave para el Internet de las Cosas (IoT), porque permite que miles de sensores, medidores de luz y cámaras funcionen en el mismo barrio sin que la red se caiga.
- **Eficiencia del espectro:** Básicamente es qué tanta información puedes meter en un "pedazo" de frecuencia. Gracias a técnicas como el Beamforming (que enfoca la señal directo al usuario y no a todos lados como un foco), el 5G aprovecha mucho mejor cada Hertz. En resumen, se duplica la capacidad de enviar datos comparado con lo que hacía el LTE en el mismo espacio.
- **Energía y Cobertura:** El 5G es más inteligente con la batería de las antenas, porque tiene modos de ahorro cuando no hay nadie conectado. Sobre la cobertura, el 4G llega lejos con antenas grandes, pero el 5G prefiere usar muchas antenas pequeñas (Small Cells) repartidas por la ciudad. Esto ayuda a que la señal no se pierda tanto, ya que las frecuencias altas (como la de 3.5 GHz) tienen problemas para atravesar paredes o árboles (ITU, 2017).

2.1.2 *Comparación entre 4G y 5G: Capacidad y Cobertura*

Al contrastar la tecnología 4G LTE con la quinta generación (5G), el cambio más drástico no es solo la velocidad de descarga, sino cómo la red gestiona la densidad de usuarios y el ancho de banda disponible. Mientras que el 4G fue diseñado principalmente para el consumo de datos móviles de banda ancha (MBB), el 5G introduce el concepto de banda ancha móvil mejorado (eMBB), lo que permite pasar de velocidades promedio de 20-50 Mbps a picos teóricos de hasta 10 Gbps en condiciones óptimas (Dahlman et al., 2020).

Desde el punto de vista de la capacidad, el 5G permite conectar hasta un millón de dispositivos por kilómetro cuadrado, superando por diez la capacidad del 4G. Esto se logra gracias al uso de canales mucho más amplios en el espectro radioeléctrico y a tecnologías como Massive MIMO, que utiliza múltiples antenas para enviar y recibir datos simultáneamente, reduciendo la saturación en zonas de alta demanda.

En cuanto a la cobertura, existe un desafío físico importante. El 4G opera mayoritariamente en bandas bajas y medias (como la de 700 MHz o 1.9 GHz), lo que le da una gran capacidad de propagación y penetración en interiores. Por el contrario, el 5G depende de bandas más altas, como la de 3.5 GHz o las ondas milimétricas (mmWave). Al ser frecuencias más altas, la longitud de onda es más corta, lo que reduce el alcance de la señal y su capacidad para atravesar obstáculos sólidos como paredes o vegetación. Esto implica que, para lograr una cobertura similar a la del 4G, el 5G requiere una densificación de la red mucho mayor, utilizando una infraestructura de celdas pequeñas (small cells) en lugar de depender únicamente de grandes torres macrocelulares (Andrews et al., 2014b).

Para entender el salto tecnológico, es necesario comparar los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) definidos por la UIT en el estándar IMT-2020. Mientras que el 4G LTE se optimizó para la movilidad y el consumo de datos de banda ancha, el 5G introduce mejoras

sustanciales en la eficiencia espectral y la densidad de conexión.

En la Tabla 1 se sintetizan las diferencias técnicas más relevantes entre ambas generaciones:

Tabla 1.

Tabla Comparativa de Desempeño Técnico: 4G vs. 5G

Parámetro Técnico	Red 4G (LTE-Advanced)	Red 5G (IMT-2020)	Impacto en la Ingeniería
Velocidad de Pico (Descarga)	1 Gbps	10 a 20 Gbps	Permite servicios de video 8K y VR en tiempo real.
Latencia (Retardo de red)	10 - 50 ms	1 - 5 ms	Crítico para telemedicina y vehículos autónomos
Densidad de Dispositivos	10^5 dispositivos /km^2	10^6 dispositivos /km^2	Soporta el despliegue masivo de IoT industrial.
Eficiencia Espectral	1x (Base)	3x a 5x superior	Más datos transmitidos por cada Hz de espectro.
Ancho de Banda por Canal	20 MHz (máximo)	100 MHz a 400 MHz	Requiere bandas como la de 3.5 GHz.
Movilidad (Velocidad max.)	Hasta 350 km/h	Hasta 500 km/h	Conectividad estable en trenes de alta velocidad
Arquitectura de Antena	MIMO convencional (8x8)	Massive MIMO (64x64 o +)	Mejora la capacidad en zonas de alta densidad.

Nota. Datos tomados de (5gamericas, 2018; ITU, 2017)

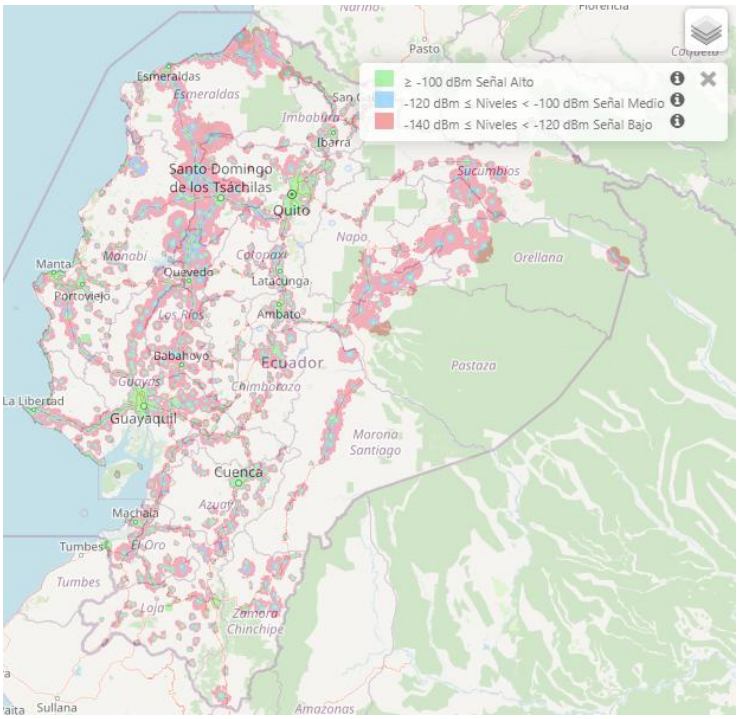
2.2.3.2 Estado situacional de la cobertura 4G en Ecuador y nodos experimentales 5G

En el escenario actual de Ecuador, la tecnología 4G (LTE) es la columna vertebral de la conectividad móvil, logrando una cobertura que supera el 75% del territorio poblado como se observa en la Figura 3. Según datos de la ARCOTEL, operadoras como Conecel (Claro), Otecel (Movistar) y la pública CNT han desplegado infraestructura principalmente en bandas de 700 MHz y 1.9 GHz para garantizar alcance urbano y rural. Sin embargo, aunque el 4G está

consolidado (ARCOTEL, 2024), según estudios de la UIT (2020) señalan que el rendimiento real en el país tiene una brecha importante respecto al promedio global: mientras la velocidad de bajada mundial ronda los 35 Mbps, en Ecuador el promedio se sitúa cerca de los 22 Mbps.

Figura 3.

Mapa de cobertura Servicio Móvil Avanzado



Nota. La figura muestra la cobertura 4G en Ecuador. Fuente: (ARCOTEL, 2025b)

Esta saturación de la red actual se refleja también en el comportamiento del usuario. Según el informe adjunto de la UIT, para el cierre de 2019, un usuario promedio en Ecuador consumía apenas 1,025 MB mensuales, una cifra muy por debajo de los 4.7 GB que promedian los países de la OCDE. Esta baja demanda no solo responde a la cobertura, sino a la falta de aplicaciones de alta capacidad que el 4G ya empieza a limitar.

Respecto al 5G, Ecuador se encuentra todavía en una fase de transición y pruebas. A diferencia de vecinos como Colombia o Chile, aquí no se ha realizado una subasta masiva de espectro para redes de quinta generación. Lo que existe actualmente son nodos experimentales y planes piloto autorizados por el ente regulador. Estas pruebas se han ejecutado

mayoritariamente en Guayaquil y Quito, utilizando frecuencias temporales en la banda de 3.5 GHz para medir el desempeño de la red en entornos reales (ITUPublications, 2025).

Estos nodos experimentales han servido para demostrar que es posible alcanzar velocidades superiores a los 400 Mbps en condiciones controladas. No obstante, el despliegue comercial masivo sigue pausado a la espera de que se definan las condiciones de renovación de los contratos de concesión y la asignación formal de las bandas de frecuencia definitivas. De acuerdo con la visión técnica de la UIT, la estrategia inicial para Ecuador se inclina hacia la arquitectura 5G NSA (Non-Standalone), la cual permite reutilizar el núcleo de red y la infraestructura física del 4G actual, facilitando un despliegue más ágil y económicamente viable antes de pasar a un esquema puramente independiente (SA) (UIT, 2020).

Para ilustrar la situación, la Tabla 2 combina los datos de despliegue local con los indicadores de rendimiento del estudio de la UIT.

Tabla 2.

Comparativa de Cobertura y Desempeño en Ecuador

Indicador	Red 4G LTE (Situación Actual)	Red 5G (Estado Experimental)	Referencia Técnica (UIT)
Cobertura Poblacional	~78% a nivel nacional	< 1% (Zonas específicas)	El 4G es masivo; el 5G es demostrativo.
Velocidad de Bajada	22 Mbps (Promedio real)	400 - 900 Mbps (En pruebas)	Brecha de velocidad de casi 20 veces.
Consumo de Datos	1.025 GB / mes	Proyectado > 10 GB / mes	El 5G busca igualar el promedio OCDE.
Arquitectura	LTE / LTE-Advanced	5G NSA (Sobre 4G)	Permite transición de bajo impacto.
Uso de Espectro	700 MHz / 1.9 GHz / AWS	3.5 GHz (Temporal)	Requiere limpieza de la banda media.

Fuente: (UIT, 2020)

2.1.3 *La ITU y la estandarización de 5G: Especificaciones del estándar IMT-2020*

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT o ITU por sus siglas en inglés) es el organismo de las Naciones Unidas encargado de establecer las reglas del juego a nivel global para las comunicaciones. Para el desarrollo del 5G, la ITU definió el marco de trabajo conocido como IMT-2020 (International Mobile Telecommunications - 2020). Este estándar no es solo una recomendación de velocidad, sino un conjunto de requisitos técnicos que las redes deben cumplir para ser consideradas oficialmente de quinta generación.

Según el estudio de la UIT (2020), el estándar IMT-2020 se diseñó para ir mucho más allá de lo que permitía el 4G (IMT-Advanced). Mientras que las generaciones anteriores se centraban en conectar personas, el IMT-2020 introduce tres pilares de servicios que transforman la red en una infraestructura para la industria (ITU, 2022):

1. **eMBB (Enhanced Mobile Broadband):** Evolución de la banda ancha móvil para soportar aplicaciones de alta demanda de datos, como video 4K/8K y realidad virtual.
2. **URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications):** Enfocado en misiones críticas donde el retraso debe ser mínimo (latencia de 1 ms), como la telemedicina o el control de procesos industriales que el documento de la UIT destaca como vitales para Ecuador.
3. **mMTC (Massive Machine Type Communications):** Capacidad para gestionar hasta un millón de sensores o dispositivos conectados por kilómetro cuadrado, facilitando el Internet de las Cosas (IoT).

Un detalle técnico importante que menciona el documento de la UIT es la coexistencia de arquitecturas. Para cumplir con el estándar IMT-2020 de forma progresiva, se definieron los esquemas NSA (Non-Standalone) y SA (Standalone). El NSA permite que el 5G "viva" sobre la infraestructura actual de 4G, lo que acelera el tiempo de llegada al mercado, mientras que el

SA es el objetivo final donde la red es totalmente independiente y alcanza el máximo rendimiento prometido por la norma (GSMA, 2023).

2.2 Tecnología 5G (Enfoque de Ingeniería)

La tecnología 5G constituye una evolución disruptiva en telecomunicaciones, destacando por sus mejoras técnicas y su impacto en sectores económicos y sociales. Sus características, arquitectura y aplicaciones evidencian beneficios en el desarrollo de la economía digital, los servicios públicos y áreas estratégicas como agricultura, salud y transporte. Los casos de Colombia y Perú muestran resultados concretos que sirven como referencia para una implementación eficiente, sostenible e inclusiva en Ecuador.

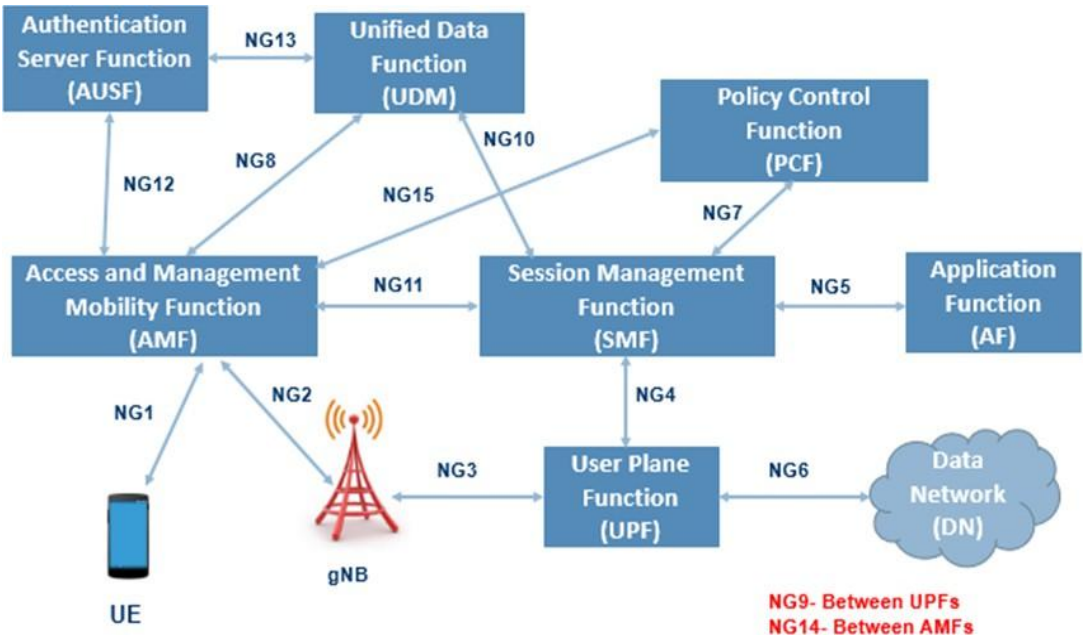
2.2.1 *Arquitectura de la Red 5G: Diferencias entre arquitecturas NSA y SA*

La arquitectura 5G se organiza en dominios acoplados por interfaces estandarizadas y un Service-Based Architecture (SBA) en el núcleo. La Figura 4 ilustra un esquema de referencia basado en 3GPP, donde se identifican RAN, núcleo 5G (5GC) y capacidades de borde (MEC), junto con funciones lógicas como AMF, SMF y UPF que habilitan control y plano de usuario separados (3GPP, 2024).

A partir de este esquema, el despliegue físico de la red puede tomar dos rutas principales dependiendo de la infraestructura existente y los objetivos de capacidad:

Figura 4.

Arquitectura de referencia de la red 5G según 3GPP



Nota. Esquema adaptado de TechPlayon (2020), basado en lineamientos 3GPP (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2016; TechPlayon, 2020).

Arquitectura Non-Standalone (NSA)

Esta es la opción de "adopción temprana" que se está viendo en Ecuador y la región. En el modelo NSA, la red 5G no funciona de forma independiente; utiliza las antenas de nueva generación (gNodeB) para la transmisión de datos, pero se apoya obligatoriamente en el núcleo de red (Core) del 4G LTE existente (EPC - Evolved Packet Core) (Dahlman et al., 2020).

Técnicamente, esto permite a los operadores ofrecer mayores velocidades de descarga rápidamente sin tener que reemplazar todo el cerebro de la red. Es una solución eficiente en costos para la fase inicial, aunque limita algunas funciones avanzadas como la latencia de 1 ms o el slicing de red puro, ya que el núcleo 4G no está diseñado para esas capacidades.

Arquitectura Standalone (SA)

El modelo SA representa la red 5G "pura" o completa. Aquí, tanto las antenas como el

núcleo de la red son nativos de 5G (5G Core). Al eliminar la dependencia del 4G, se habilitan todas las promesas técnicas del estándar IMT-2020 (Martinez, 2021):

- **SBA (Service-Based Architecture):** El núcleo se vuelve modular, basado en software y servicios.
- **Baja Latencia Real:** Permite alcanzar los niveles de respuesta necesarios para misiones críticas.
- **Network Slicing:** Capacidad de crear redes virtuales dedicadas para diferentes industrias (salud, seguridad, minería) sobre la misma infraestructura física

La Tabla 3 resume las diferencias operativas que se debería considerar para el análisis de implementación en Ecuador:

Tabla 3.

Comparativa Técnica: Modalidades de Despliegue

Características	**Arquitectura NSA (Híbrida)**	**Arquitectura SA (Nativa)**
Núcleo de Red (Core)	4G EPC (Actual)	5GC (Nuevo Núcleo 5G)
Antenas (RAN)	4G y 5G combinadas	5G NR
Costo de Inversión	Menor (reutiliza activos)	Mayor (cambio total)
Servicio Principal	Banda ancha mejorada (eMBB)	eMBB + URLLC + mMTC
Complejidad	Media (coexistencia de redes)	Alta (implementación desde cero)

Fuente: (ETSI, 2024)

2.2.2 *Métodos de Acceso y Tecnologías Habilitadoras: Massive MIMO, Beamforming y Network Slicing (Segmentación de red)*

Las redes 5G elevan capacidad y eficiencia mediante esquemas de antenas múltiples (MI- MO, Massive MIMO, FD -MIMO) y virtualización (SDN/NFV) que habilitan beamforming 3D, slicing y edge; en Ecuador, estas técnicas se alinean con la planificación de

700 MHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz y 26 GHz para casos de alta demanda. Como se resume en la Tabla 4, cada tecnología cumple un rol específico para alcanzar los KPIs de 5G (capacidad, latencia, conexión masiva) (ARCOTEL, 2021a; De León, 2022; Rahman et al., 2021).

Tabla 4.

Tipos de acceso y tecnologías habilitadoras en 5G

Tecnología	Descripción	Función principal en 5G
MIMO	Múltiples antenas en transmisión/recepción para explotar multiplexación espacial	Eleva eficiencia espectral y capacidad
Massive MIMO	Decenas o cientos de elementos radiantes con *beamforming* de alta resolución	Máxima capacidad en áreas densas/ mejor cobertura/robustez
FD-MIMO	Control de haces en 3D (plano vertical y horizontal).	Optimiza cobertura en edificios y *hotspots;* útil en 3.5/26 GHz
SDN	Separación del plano de control y programación por software	Orquestación dinámica, habilita *slicing*/*edge*
NFV	Funciones de red virtualizadas sobre hardware generalista	Escalamiento ágil y menor OPEX/CAPEX
mmWave	Espectro 24–100 GHz con gran ancho de banda y celdas pequeñas	Enlaces multigigabit en entornos urbanos/industriales.

Nota. Elaboración propia con base en (3GPP, 2024; De León, 2022; Tirado & Romero, 2022)

2.2.3 *Importancia Crítica de la Banda de 3.5 GHz:*

En el despliegue de redes de quinta generación, la banda de 3.5 GHz (rango de 3.3 GHz a 3.8 GHz) se ha consolidado a nivel mundial como la "banda dorada" o banda base para 5G. Su importancia está en que ofrece el mejor equilibrio técnico entre las dos variables más críticas de la ingeniería de redes: capacidad de transmisión y distancia de cobertura.

A diferencia de las bandas bajas (como la de 700 MHz), que llegan muy lejos, pero tienen poco ancho de banda, o las bandas milimétricas (mmWave), que son ultrarrápidas, pero

se bloquean con cualquier obstáculo, la banda de 3.5 GHz permite manejar bloques de espectro continuos de 80 MHz a 100 MHz por operador. Esto es lo que realmente permite alcanzar las velocidades de Gbps que promete el estándar IMT-2020 sin sacrificar excesivamente el alcance de la señal.

2.2.3.1 Propiedades de propagación y ancho de banda

Desde el punto de vista radioeléctrico, esta banda permite el uso eficiente de la tecnología Massive MIMO. Al tener una longitud de onda menor que las bandas de 4G tradicionales, es posible integrar arreglos de antenas mucho más densos en paneles de tamaño reducido. Esto facilita el beamforming, permitiendo que la energía de la señal se dirija de forma precisa hacia el usuario, mejorando la relación señal-ruido y, por ende, la tasa de transferencia de datos.

2.2.3.2 El proceso de "Limpieza de Espectro" (Banda C)

Como destaca el documento de la UIT (2020) para el caso de Ecuador, el uso de la banda de 3.5 GHz no está exento de retos. Históricamente, este rango de frecuencias ha sido utilizado para servicios fijos por satélite (Banda C). Para que el 5G pueda operar sin interferencias, el Estado debe llevar a cabo un proceso de limpieza o migración de servicios existentes (UIT, 2020).

Este es un punto crítico en la regulación ecuatoriana: si no se garantiza que la banda esté "limpia", el despliegue de celdas pequeñas (small cells) en zonas urbanas generará ruido electromagnético que degradará tanto el servicio móvil como las comunicaciones satelitales actuales.

2.3 Casos de Uso e Impacto de 5G (Enfoque de Aplicación)

5G habilita digitalización sectorial con alta capacidad, baja latencia y densidad de conexión. En los Andes (Perú, Colombia, Ecuador) las prioridades convergen en agro, salud,

movilidad y energía bajo marcos de MTC/OSIPTEL, MinTIC/CRC y MINTEL/ARCOTEL, respectivamente (De León, 2022; Tirado & Romero, 2022).

2.3.1 *Evolución funcional:*

La transición de 4G (LTE) a 5G (NR) no representa únicamente un incremento en velocidad, sino una transformación estructural en la arquitectura, capacidad operativa y modelo de servicio de las redes móviles. Mientras 4G fue concebida principalmente para banda ancha móvil orientado al consumo de datos (eMBB), 5G introduce una arquitectura flexible capaz de soportar simultáneamente tres grandes categorías de servicio definidas por IMT-2020: banda ancha mejorada (eMBB), comunicaciones ultra confiables de baja latencia (URLLC) y comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) (ITU, 2020).

Desde el punto de vista funcional, las mejoras estructurales pueden sintetizarse en cuatro dimensiones: reducción de latencia, aumento de capacidad, virtualización de red y ampliación del espectro utilizable. Estas mejoras permiten habilitar aplicaciones industriales, médicas y urbanas que no eran técnicamente viables bajo la arquitectura 4G tradicional (3GPP, 2024)

Como se muestra en la Tabla 5, el cambio tecnológico implica una evolución desde una red centrada en el usuario humano hacia una plataforma multiservicio que integra dispositivos inteligentes, sistemas automatizados e infraestructura crítica.

Tabla 5.

Evolución funcional estructural de 4G a 5G

Dimensión	4G (LTE)	5G (NR)
Modelo de servicio	Orientado a banda ancha móvil (eMBB)	Multiservicio: eMBB, URLLC y mMTC
Latencia	30 – 50 ms promedio	≤1 ms en escenarios críti- cos (URLLC)
Capacidad de dispositivos	≈100 000 dispositivos/km^2	Hasta 1 000 000 dispositivos/km^2
Arquitectura de red	Núcleo EPC centralizado	(SDN/NFV) y network slicing
Procesamiento	Centralizado	Core 5G virtualizado
Bandas de operación	Principalmente sub-3 GHz	Distribuido con *edge computing* (MEC) Sub-6 GHz + mmWave (24 – 100 GHz)
Aplicaciones predominantes	Streaming, redes sociales, navegación web	Industria 4.0, telemedicina, IoT masivo, ciudades inteligentes

Nota. Elaboración propia con base en (3rd Generation Partnership Project (3GPP), 2020; *5G PPP: Ten Technology Trends*, 2019; ETSI, 2019; ITU-R, 2015, 2017b).

La reducción de latencia en 5G se logra mediante optimización del plano de control y usuario, así como mediante la incorporación de computación en el borde (MEC), lo que acerca el procesamiento al usuario final (ETSI, 2019). Esta característica es esencial para aplicaciones como control industrial remoto, cirugía asistida y vehículos autónomos, donde los tiempos de respuesta deben ser prácticamente instantáneos.

En términos de capacidad, el uso de Massive MIMO, beamforming y bloques de espectro más amplios en bandas medias y milimétricas permite un aumento significativo del rendimiento por celda, especialmente en entornos urbanos de alta densidad (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019).

Finalmente, la virtualización de funciones de red y la implementación de network slicing permiten segmentar la infraestructura física en redes lógicas especializadas, garantizando niveles diferenciados de calidad de servicio según el tipo de aplicación (3rd

Generation Partnership Project (3GPP), 2024b).

En consecuencia, la evolución funcional de 4G a 5G no debe interpretarse como una sim- ple mejora incremental, sino como la consolidación de una plataforma tecnológica avanzada capaz de soportar procesos productivos digitalizados, automatización industrial y ecosistemas urbanos inteligentes.

2.3.2 *Aplicaciones en Perú*

Los pilotos se enfocan en agricultura de precisión (sensores y drones para riego/fertilización) y telemedicina con diagnóstico remoto en zonas rurales. El modelo regulatorio con neutralidad tecnológica y preparación de 3.5/26 GHz favorece casos de uso de alta capacidad (De León, 2023; PROINVERSIÓN, 2024).

2.3.3 *Aplicaciones en Colombia*

Destaca movilidad inteligente (V2X, semaforización adaptativa) y salud (teleasistencia y procedimientos remotos en pilotos). La política integra 5G a ciudades inteligentes y promueve compartición de infraestructura; el proceso regulatorio habilita 700/3.5 GHz (Garrido Terán, 2023; Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

2.3.4 *Aplicaciones y Beneficios Esperados en Ecuador*

El 5G en Ecuador prioriza riego automatizado y agricultura de precisión, transporte urbano inteligente (semaforización adaptativa y gestión de flotas), videovigilancia con analítica, monitoreo ambiental con sensores de alta frecuencia, telemedicina y monitoreo remoto de pacientes, educación digital (aulas y laboratorios conectados) y logística con trazabilidad e inventario en tiempo real; estos casos de uso, habilitados por alta capacidad, baja latencia, edge y network slicing, apuntan a mayor productividad, eficiencia de servicios y reducción de brechas, en línea con la Agenda de Transformación Digital 2022–2025 y el avance

de cobertura y ordenamiento del espectro liderado por ARCOTEL (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019; De León, 2023; de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2025; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022b).

2.3.5 *Desarrollo de Ciudades Inteligentes en Ecuador*

El desarrollo de ciudades inteligentes en Ecuador se apoya en la conectividad 5G como base para optimizar los servicios urbanos. La Agenda de Transformación Digital 2022–2025 del Ministerio de Telecomunicaciones (MINTEL) establece ejes para digitalizar la gestión pública, mejorar la movilidad y fortalecer la seguridad ciudadana mediante el uso de datos y auto- matización (de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022b).

En este marco, el Instructivo de Territorios Digitales y Ciudades Inteligentes promueve la adopción de tecnologías como semáforos inteligentes, sensores de tránsito y sistemas de monitoreo ambiental, integrados a redes de alta velocidad (de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2020). Proyectos piloto impulsados por CNT en Quito y Guayaquil ya incorporan infraestructura 5G que permitirá implementar soluciones de videovigilancia, control de tráfico y telemetría en tiempo real (de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2024; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2025).

De acuerdo con ARCOTEL (de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCO- TEL), 2025), la ampliación de la cobertura móvil y la gestión eficiente del espectro son factores claves para consolidar estos entornos conectados. Así, el modelo ecuatoriano combina políticas digitales, cooperación público–privada y tecnología 5G para avanzar hacia urbes más seguras, sostenibles y competitivas.

2.4 Regulación y Gestión del Espectro Radioeléctrico (Enfoque LEGAL - ECONÓMICO)

El espectro radioeléctrico constituye un recurso natural limitado, estratégico y de interés público, cuya administración corresponde al Estado bajo principios de eficiencia, transparencia y equidad en el acceso (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (AR- COTEL), 2021; ITU-R, 2015). Desde una perspectiva técnico–jurídica, su regulación no se limita a la asignación de frecuencias, sino que incluye planificación, ordenamiento, control de interferencias y definición de condiciones de uso que permitan maximizar el bienestar social y el desarrollo tecnológico.

En el contexto de 5G, la gestión del espectro adquiere mayor complejidad debido a la necesidad de bloques contiguos amplios, coexistencia con servicios preexistentes y diversidad de bandas (bajas, medias y milimétricas) con funciones diferenciadas (De León, 2023; ITU-R, 2017b). Por ello, la regulación moderna evoluciona desde un modelo meramente administrativo hacia uno estratégico, orientado a resultados en cobertura, capacidad y competitividad económica.

2.4.1 *Fundamento técnico–jurídico*

Desde el punto de vista técnico, la eficiencia espectral depende de la asignación ordenada y disponibilidad de ancho de banda suficiente para cumplir con los requisitos de desempeño establecidos por IMT-2020 (ITU-R, 2017b). Jurídicamente, la gestión del espectro se sustenta en principios de:

- Uso eficiente y racional del recurso público.
- Neutralidad tecnológica.
- Transparencia en procesos de asignación.
- Promoción de competencia y cobertura universal.

Estos principios están alineados con los lineamientos internacionales de la UIT para la evo- lución de sistemas IMT y su armonización global (ITU-R, 2015, 2021).

2.4.2 *Relación con IMT-2020*

IMT-2020 define requisitos técnicos mínimos para redes 5G, incluyendo velocidades pico de hasta 20 Gbps, latencias objetivo-cercanas a 1 ms en escenarios específicos y soporte masivo de dispositivos (ITU-R, 2017b, 2021).

Asimismo, la UIT ha identificado bandas prioritarias para el despliegue 5G (700 MHz, 3.5 GHz y 24.25–27.5 GHz), promoviendo armonización internacional para reducir costos de implementación y favorecer economías de escala (ITU-R, 2015).

En consecuencia, la gestión del espectro es el instrumento mediante el cual los objetivos técnicos de IMT-2020 se traducen en políticas nacionales concretas.

2.4.3 *Enfoque comparativo regional*

La experiencia regional muestra distintos enfoques de gestión del espectro para 5G. Perú ha priorizado planificación por banda y subastas abiertas; Colombia ha incorporado obligaciones de cobertura como mecanismo de inclusión digital; mientras que Ecuador avanza en planificación progresiva y establecimiento de topes de espectro para garantizar competencia (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2023; De León, 2023; Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), 2023).

Como se muestra en la Tabla 6, estas diferencias reflejan distintos niveles de madurez regulatoria y estrategias de política pública.

Tabla 6.

Enfoques de gestión del espectro 5G en países seleccionados

País	Modelo regulatorio	Enfoque estratégico
Perú	Subastas abiertas con planificación por banda	Equilibrio cobertura/capacidad
Colombia	Precio + obligaciones de cobertura	Inclusión digital y des- pliegue rural
Ecuador	Planificación progresiva y topes de espectro	Transición normativa hacia 5G

Nota. Elaboración propia con base en (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2023; De León, 2023; Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), 2023).

2.4.4 *Conexión directa con Ecuador*

En Ecuador, la gestión del espectro enfrenta desafíos asociados a la liberación de bandas medias (3.5 GHz), planificación de cobertura rural en 700 MHz y preparación normativa para bandas milimétricas, en coherencia con la Agenda de Transformación Digital (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2021; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022b).

La articulación entre regulación técnica, planificación económica y alineación con estándares internacionales determinará la capacidad del país para adoptar 5G de manera sostenible y competitiva. En consecuencia, la regulación del espectro debe entenderse como una herramienta estratégica de política pública orientada a eficiencia técnica, desarrollo productivo y reducción de brechas digitales.

2.4.5 *Comparación de Oportunidades entre Perú, Colombia y Ecuador*

La comparación entre Perú, Colombia y Ecuador permite identificar diferencias en grado de avance, enfoque regulatorio e integración de 5G en sus políticas de digitalización. Perú y Colombia han ejecutado pilotos y procesos de asignación o preparación de subastas en ban- das clave, mientras que Ecuador está en fase preparatoria normativa e infraestructura.

Como se sintetiza en la Tabla 7, este contraste abre una ventana para que Ecuador adopte mejores prácticas y evite errores de los pioneros (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2021; De León, 2023; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022b).

Tabla 7.

Comparación de estrategias y oportunidades de 5G en Perú, Colombia y Ecuador

Aspecto	Perú	Colombia	Ecuador
Etapa de implementación	Pilotos y estructuración de 3.5/26 GHz	Subasta 5G reglamentada (700/3.5)	Fase de planificación normativa y espectro
Instituciones rectoras	MTC y OSIPTEL	MinTIC y CRC	ARCOTEL y MINTEL
Bandas asignadas o planificadas	700 MHz, 3.5 GHz, 26 GHz	700 MHz, 3.5 GHz (y 26 GHz prevista)	700 MHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz (priorizadas)
Modelo regulatorio	Subastas abiertas y neutralidad tecnológica	Precio + "obligaciones de hacer" e inclusión digital	Topes de espectro, planificación y cooperación público/privada
Enfoque sectorial prioritario	Agro, minería, salud	Movilidad, salud, manufactura	Transporte, energía, salud, agro
Nivel de madurez 5G	Intermedio/avanzado	Intermedio	Inicial
Desafíos principales	Expansión rural y costos de infraestructura	Sostenibilidad económica y continuidad de inversión	Regulación, inversión y capacitación técnica

Nota. Elaboración propia con base en (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2021, 2023; De León, 2023; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022b; Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), 2023; PROINVERSIÓN, 2024).

En Perú, la apertura regulatoria y neutralidad tecnológica favorecen inversión y preparación de proyectos en 3.5/26 GHz, con 700 MHz como soporte de cobertura; pilotos en agro, minería y telemedicina priorizan productividad y sostenibilidad (De León, 2023; PROINVERSIÓN, 2024).

En Colombia, la equidad territorial integra "obligaciones de hacer" a la asignación,

combinando adjudicación con expansión rural; CRC y MinTIC impulsan compartición y colaboración público-privada (De León, 2023; Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

En Ecuador, ARCOTEL avanza en lineamientos de espectro y topes (700 MHz, 2.6 GHz, 3.5 GHz) y MINTEL articula el despliegue como eje de la Agenda de Transformación Digital 2022–2025 (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2021, 2023; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022b). En síntesis, Ecuador puede:

- Definir ruta por bandas con metas de cobertura/capacidad; combinar subastas con obligaciones verificables de despliegue rural.
- Agilizar permisos y compartición para reducir CAPEX/OPEX, alineado con la Agenda de Transformación Digital (De León, 2023; de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MIN-TEL), 2022b; Garrido Terán, 2023).

2.4.6 *Marco Regulatorio Internacional y Nacional*

La regulación del espectro radioeléctrico es uno de los pilares más importantes para el des- pliegue eficiente de la tecnología 5G. Esta gestión implica no solo la asignación de bandas de frecuencia, sino también la definición de condiciones de uso, licenciamiento y armonización internacional. A continuación, se presentan los enfoques regulatorios de Perú, Colombia y Estados Unidos, tres países que han tomado iniciativas relevantes para permitir el avance de redes móviles de quinta generación.

2.4.6.1 Perú

Velocidad y capacidad: La hoja de ruta peruana para 5G prioriza la banda media (3,5 GHz) para eMBB por su equilibrio entre cobertura y capacidad, con anchos de canal amplios que habilitan tasas de gigabit en escenarios urbanos; la banda milimétrica (26 GHz) se reserva

para picos de capacidad en hotspots y casos industriales con demanda extrema (De León, 2023; Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021).

Latencia: La adopción progresiva de NSA hacia SA permite llevar la latencia desde dece- nas de milisegundos a valores sub–10 ms cuando hay edge computing y slicing en dominios críticos (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019; De León, 2023).

Número de nodos y densificación: La política tecnológica neutral facilita despliegues con macro celdas en 700 MHz para cobertura y small cells densas en 3,5/26 GHz en áreas de alta demanda. La relación nodos/km2 crece con 26 GHz por la menor huella de celda, lo que exige planificación de sitio, backhaul y permisos municipales simplificados (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019; De León, 2023).

Cobertura: La combinación 700 MHz (cobertura amplia) + 3,5 GHz (capacidad urbana) es el eje para cumplir metas de inclusión digital; los mecanismos de compartición de infraestructura pasiva y obligaciones de despliegue orientan la expansión hacia zonas rurales y periurbanas (De León, 2023).

Gestión de espectro: Subastas abiertas en bandas medias y neutralidad tecnológica maximizan eficiencia y competencia. Los sandbox regulatorios habilitan pilotos en minería, agro y salud, acelerando la validación de KPIs de velocidad y latencia en condiciones reales (De León, 2023; Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021).

2.4.6.2 Colombia

Velocidad y capacidad: La asignación/planeación de 700 MHz y 3,5 GHz permite combinar cobertura con portadoras amplias para eMBB. Pilotos urbanos han mostrado mejoras sustanciales de throughput respecto de 4G bajo NSA, con ruta a SA para slicing y URLLC (Garrido Terán, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

Latencia: MinTIC y CRC impulsan pruebas con borde de red en ciudades principales para servicios de baja latencia en movilidad inteligente y salud; la migración a SA y MEC es

el vector para alcanzar latencias de un dígito (Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

Número de nodos y densificación: Las "obligaciones de hacer" orientan nuevos sitios hacia brecha rural, mientras que en capitales se densifica con small cells en 3,5 GHz. El roaming nacional y compartición de torres/ductos reduce el número total de sitios necesarios para cobertura inicial sin penalizar capacidad (Garrido Terán, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

Cobertura: El uso de 700 MHz para expansión social y 3,5 GHz para capacidad urbana está atado a metas de cobertura poblacional progresivas en la concesión, cerrando brecha y sosteniendo QoS (Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

Gestión de espectro: Esquemas de reasignación eficiente, licencias temporales para pilo- tos y futura incorporación de 26 GHz para entornos industriales elevan el techo de capacidad, manteniendo continuidad 4G mediante refarming (Garrido Terán, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

2.4.6.3 Estados Unidos (FCC)

Velocidad y capacidad: El modelo FCC priorizó bandas milimétricas para altísima capacidad en áreas densas, con canales anchos y beamforming que permiten tasas multigigabit en celdas pequeñas; la capacidad agregada depende de densificación y disponibilidad de backhaul de alta capacidad (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019; De León, 2023).

Latencia: Despliegues SA con edge acercan funciones de plano de usuario, reduciendo saltos y latencia; los beneficios plenos afloran en dominios locales de computación en el borde (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019).

Número de nodos y densificación: Las mmWave requieren muchas más celdas por km2 que bandas sub–6 GHz; la simplificación de siting y el sharing de infraestructura aceleran el conteo de nodos en mercados urbanos (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019).

Cobertura: Cobertura amplia se apoya en bandas bajas/medias; mmWave se focaliza en hotspots urbanos y casos empresariales, con propagación limitada y sensibilidad a bloqueo (De León, 2023).

Gestión de espectro: La estrategia de subastas y spectrum sharing impulsó innovación privada y uso eficiente del espectro, con prácticas replicables en la región para licencias locales y redes privadas 5G (5G PPP: Ten Technology Trends, 2019; De León, 2023).

2.4.7 *Conceptualización técnica de 5g en Ecuador*

La implementación de la red 5G en Ecuador requiere una planificación adecuada del uso del espectro radioeléctrico. Según la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), las bandas prioritarias para 5G en el país son la de 700 MHz, 2.6 GHz y 3.5 GHz, siendo esta última la más adecuada por su equilibrio entre capacidad y cobertura (de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), 2022a). Además, se ha considerado la posible inclusión de bandas milimétricas (por encima de 24 GHz), aunque su uso efectivo depende de la evolución del ecosistema tecnológico y la disponibilidad de terminales compatibles.

El proceso de subasta del espectro, planificado para etapas entre 2023 y 2025, contempla condiciones de inversión en infraestructura y cobertura, priorizando zonas rurales y urbano- marginales. Este enfoque busca reducir la brecha digital y facilitar la inclusión tecnológica en regiones tradicionalmente desatendidas (Garrido Terán, 2023).

2.4.7.1 Asignación de Bandas de Frecuencia para 5G en Ecuador

La planificación del espectro radioeléctrico en Ecuador está guiada por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) y el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL). El país ha identificado tres rangos prioritarios para la implementación de redes 5G: las bandas bajas (700 MHz),

medias (3.3– 3.8 GHz) y altas (26 GHz). De acuerdo con el estudio técnico realizado por Guayanlema (Guayanlema Córdova, 2018), la banda de 700 MHz ofrece una alta capacidad de propagación y es idónea para zonas rurales, mientras que la banda de 3.5 GHz proporciona un equilibrio entre cobertura y capacidad, siendo la más adecuada para áreas urbanas densas. La banda de 26 GHz, por su parte, está destinada a servicios de alta capacidad en entornos industriales y de baja latencia (De León, 2023; Garrido Terán, 2023). El enfoque adoptado por el MINTEL se basa en la neutralidad tecnológica, lo que permite que los operadores seleccionen la tecnología de acceso radioeléctrico que mejor optimice el uso del espectro (Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021).

2.4.7.2 Desafíos en la Gestión del Espectro y Barreras Regulatorias

A pesar de los avances normativos, Ecuador enfrenta varios desafíos en la gestión eficiente del espectro. Entre ellos, destaca la necesidad de modernizar los procedimientos de licencia- miento y fortalecer los mecanismos de asignación transparente, alineados con las recomen- daciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (De León, 2023). Garrido Terán (Garrido Terán, 2023) señala que uno de los principales retos radica en la falta de claridad sobre los criterios de subasta, los plazos de concesión y las obligaciones de cobertura asociadas. Asimismo, la coexistencia con tecnologías 4G requiere procesos de refarming planificados y el establecimiento de políticas de uso compartido de infraestructura pasiva y activa, para evitar la duplicación de inversiones (Tirado Romero & Romero Morera, 2022). La transparencia en la gestión y la reducción de cargas administrativas resultan esenciales para atraer inversiones sostenibles en el sector.

2.4.7.3 Infraestructura Actual y Necesidades de Inversión

El despliegue de 5G demanda una infraestructura de red significativamente más densa que las generaciones anteriores. Según Guayanlema (Guayanlema Córdova, 2018), Ecuador

cuenta con una base de torres y estaciones suficientes para cubrir los servicios 4G actuales, pero será necesario incrementar entre un 30 % y 40 % la densidad de nodos para soportar el tráfico esperado de 5G, especialmente en bandas medias y altas. La CEPAL (De León, 2023) estima que el país requerirá inversiones sostenidas en fibra óptica y centros de datos de borde para garantizar la baja latencia y la alta disponibilidad de los servicios. Además, la implementación de políticas de compartición de infraestructura y alianzas público-privadas puede reducir los costos iniciales y acelerar la cobertura nacional (Garrido Terán, 2023).

2.4.7.4 Barreras Técnicas y Económicas para el Despliegue de 5G

El desarrollo de 5G en Ecuador enfrenta barreras tanto técnicas como económicas. En el ámbito técnico, la limitada disponibilidad de equipos compatibles con bandas locales y la necesidad de actualización de backhaul y core de red constituyen obstáculos inmediatos (De León, 2023). Económicamente, el costo de licenciamiento del espectro, sumado a los impuestos sobre importaciones de equipos de telecomunicaciones, incrementa las barreras de entrada para nuevos operadores (Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021). Garrido Terán (Garrido Terán, 2023) también advierte que la falta de incentivos fiscales y financieros retrasa la inversión privada, lo que podría afectar el cumplimiento de las metas de conectividad establecidas en la Agenda Digital 2022–2025.

2.4.7.5 Impacto de 5G en el Sector Público y Privado en Ecuador

El impacto proyectado de la red 5G en Ecuador abarca tanto el sector público como el privado. En el ámbito estatal, se prevé que la tecnología facilite la digitalización de los servicios públicos, el monitoreo ambiental y el fortalecimiento de la seguridad ciudadana mediante sistemas IoT de respuesta temprana (Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021). En el sector productivo, la CEPAL (De León, 2023) destaca oportunidades en manufactura avanzada, logística y agricultura de precisión. Asimismo, el informe del MINTEL (Impacto de 5G en

industrias del Ecuador, 2021) señala que el despliegue de 5G puede incrementar la productividad empresarial hasta en un 25 %, al optimizar la conectividad de dispositivos, reducir tiempos de procesamiento y habilitar nuevos modelos de negocio basados en datos. No obstante, alcanzar dicho potencial dependerá de políticas coordinadas que garanticen seguridad digital, capacitación técnica y sostenibilidad económica (Garrido Terán, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

2.4.7.6 Comparación Internacional de la Implementación de 5G

El despliegue de redes 5G a nivel internacional no ha seguido un único modelo, sino que varía según factores económicos, regulatorios y técnicos. En América Latina, los países muestran avances dispares: mientras Perú y Colombia aplican estrategias regulatorias proactivas, Ecuador avanza con un enfoque gradual de planificación. Las Tablas 8 y 9 presentan, respectivamente, una comparación de los progresos regionales y las lecciones más relevantes para el diseño de políticas en Ecuador (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

2.4.7.7 Progresos en América Latina (Perú, Colombia)

Como se muestra en la Tabla 8, Perú y Colombia han avanzado en la implementación de 5G con estrategias diferenciadas que pueden servir como referencia para Ecuador. Perú ha priorizado la banda media (3.5 GHz) y la milimétrica (26 GHz) para maximizar capacidad, mientras Colombia ha apostado por modelos de inclusión digital a través de obligaciones de cobertura en sus licitaciones (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

Tabla 8.

Casos de éxito y progreso 5G: Perú y Colombia (implicaciones para Ecuador)

Aspecto	Perú	Colombia	Ecuador (implicaciones)
Política de espectro	Ruta 3.5 GHz para eMBB y 26 GHz para *hotspots* / industria; uso de 700 MHz para cobertura	700 MHz para cobertura social y 3.5 GHz para capacidad urbana; planeación de 26 GHz	Replicar combinación 700/3.5/26 GHz con refarming ordenado y metas por banda
Modelo de asignación	Subastas abiertas con neutralidad tecnológica	Adjudicación con "obligaciones de hacer" (cobertura rural)	Diseñar subasta con obligaciones de despliegue y precios moderados
Pilotos y sectores	Minería, agro de precisión, salud; *sandboxes* regulatorios	Salud, movilidad inteligente, manufactura con *edge* y NSA→SA	Priorizar pilotos en puertos, energía y logística con redes privadas 5G
Resultados / indicadores	Gigabit en áreas urbanas con 3.5 GHz; latencias sub–10 ms con *edge*	Mejora de *throughput* sobre 4G y reducción de latencia en pruebas urbanas	Fijar KPIs mínimos por banda: *throughput*, latencia, disponibilidad
Infraestructura	Densificación con *small cells* y backhaul de fibra	Compartición de torres/ductos y *roaming* nacional	Acelerar permisos de sitio y fibra para *backhaul*/*midhaul*

Nota. Elaboración propia con base en (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; *Impacto de 5G en industrias del Ecuador*, 2021; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

En Perú, la priorización de 3.5 GHz para eMBB y 26 GHz para capacidad puntual ha permitido alcanzar tasas gigabit y latencias de un dígito con edge computing. En Colombia, la combinación 700/3.5 GHz con "obligaciones de hacer" y compartición de infraestructura ha acelerado la cobertura y fomentando innovación urbana (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; Tirado Ro- mero & Romero Morera, 2022).

2.4.8 *Lecciones y Modelos de Éxito para el Despliegue de 5G*

La Tabla 9 sintetiza las principales lecciones regulatorias y técnicas derivadas de los casos analizados, que pueden orientar a Ecuador en el diseño de su modelo de licenciamiento y cobertura. Estas experiencias muestran la importancia de combinar neutralidad tecnológica,

obligaciones de cobertura e incentivos financieros para garantizar sostenibilidad y equidad digital (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021;Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

Tabla 9.

Lecciones y modelos de éxito aplicables al despliegue 5G en Ecuador

Lección/Modelo	Perú	Colombia	Aplicación en Ecuador
Asignación por bandas	3.5 GHz como "banda núcleo"; 26 GHz para *hotspots*	700 MHz + 3.5 GHz; 26 GHz planificada	Definir cronograma 700/3.5/26 con refarming 4G (De León, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022)
Obligaciones de cobertura	Metas con énfasis en inclusión digital	"Obligaciones de hacer" en zonas rurales	Hitos de cobertura por año y banda con verificación (Garrido Terán, 2023; Tirado Romero & Romero Morera, 2022)
Neutralidad tecnológica	Operadores eligen tecnología de acceso	Eliminación de restricciones tecnológicas en títulos habilitantes para incentivar la inversión privada	Establecer marcos flexibles que permitan la libre elección y evolución tecnológica de la infraestructura de acceso móvil
Compartición y *roaming*	*Small cells* + fibra	Compartición pasiva + *roaming* nacional	Normas claras de compartición y ventanilla única de permisos (Tirado Romero & Romero Morera, 2022)
Pilotos sectoriales	Minería, agro, salud con *sandbox*	Salud, movilidad, manufactura con *edge*	Red privada 5G en puertos/energía; KPI de latencia/fiabilidad (De León, 2023; *Impacto de 5G en industrias del Ecuador*, 2021)

Nota. Elaboración propia con base en (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; *Impacto de 5G en industrias del Ecuador*, 2021; Tirado Romero & Romero Morera, 2022).

En conjunto, las experiencias de Perú y Colombia confirman que un despliegue 5G exitoso re- quiere planificación por bandas, incentivos adecuados y mecanismos de control transparentes. Ecuador puede aplicar estas lecciones para optimizar su propio modelo de concesión y acelerar la cobertura nacional de 5G. Estrategias de Despliegue y Futuro de 5G en

Ecuador.

El despliegue de la red 5G en Ecuador representa una etapa decisiva en la evolución de las telecomunicaciones del país. Esta sección examina las estrategias institucionales, empresaria- les y regulatorias que guían el proceso de implementación, así como las tendencias tecnológicas y proyecciones hacia el año 2025. Se analizan las acciones adoptadas por el Gobierno y las principales operadoras móviles para habilitar la infraestructura necesaria, las políticas de espectro y las oportunidades derivadas de la Agenda de Transformación Digital 2022–2025. El propósito es identificar los elementos que determinarán el éxito de la adopción de 5G en Ecuador y su alineación con las mejores prácticas regionales y globales (De León, 2023; Garrido Terán, 2023; Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021).

2.4.9 *Estrategias del Gobierno y las Empresas de Telecomunicaciones*

El Gobierno ecuatoriano, a través del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) y la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), ha delineado un plan de acción orientado a habilitar el despliegue progresivo de redes 5G entre 2023 y 2025. Este plan se estructura sobre tres ejes: la planificación del espectro radioeléctrico, la modernización de infraestructura crítica y la promoción de alianzas público–privadas (De León, 2023; Garrido Terán, 2023). En el ámbito del espectro, se prevé la asignación inicial de las bandas de 700 MHz, 2.6 GHz y 3.5 GHz para servicios 5G, priorizan- do un modelo de subastas transparentes con condiciones de cobertura rural e inclusión digital (Guayanlema Córdova, 2018; Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021).

Las empresas operadoras Claro, CNT y Movistar, han desarrollado estrategias paralelas enfocadas en pruebas piloto y en la modernización de su infraestructura de transporte y núcleo de red. De acuerdo con el informe de la CEPAL (De León, 2023), CNT ha concentrado

esfuerzos en la integración de cloud core y redes de acceso convergentes, mientras que Claro y Movistar han optado por esquemas de densificación con small cells y migración paulatina hacia arquitecturas Standalone. Además, la cooperación con proveedores tecnológicos internacionales como Huawei, Ericsson y Nokia ha permitido iniciar pilotos en las ciudades de Quito y Guayaquil con fines de validación de parámetros de velocidad y latencia. Estas estrategias buscan sentar las bases para un ecosistema 5G nacional sostenible y escalable, enfocado en productividad y servicios digitales (Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021; Villacís Valarezo, 2020).

2.4.10 *Tendencias Recientes y Evolución del Despliegue Técnico*

De acuerdo con el análisis prospectivo de Campos & Cavada (2021), el diseño original del despliegue comercial de 5G en Ecuador apuntaba a cubrir al menos el 40% de la población urbana al cierre de 2025, concentrando la infraestructura inicial en corredores logísticos, zonas industriales y capitales provinciales. Por su parte, los estudios de la CEPAL De León (2022) estimaban que la contribución de la tecnología móvil al PIB ecuatoriano alcanzaría el 3.5%, impulsada por la digitalización productiva y el Internet de las Cosas (IoT) industrial.

En la práctica actual, el desarrollo del sector se sostiene sobre tres tendencias emergentes: la consolidación de redes privadas 5G en sectores estratégicos (puertos, minería y energía), la expansión del edge computing a través de centros de datos regionales, y la adopción de modelos de spectrum sharing y network slicing para mejorar la eficiencia del servicio (5G PPP, 2019; De León, 2023). Asimismo, los informes técnicos del MINTEL (Impacto de 5G en industrias del Ecuador, 2021) confirman que las velocidades promedio de conexión móvil en entornos urbanos consolidados pueden multiplicarse por diez respecto a 4G, alcanzando tasas superiores a 1 Gbps con latencias menores a 5 ms, lo que mantiene al país en la media de progreso regional conforme se ejecutan las inversiones previstas en las renovaciones contractuales de 2025 y 2026.

La Agenda de Transformación Digital 2022–2025, presentada por el MINTEL en julio de 2022, estableció el marco rector para la adopción tecnológica en el país. Esta política integró el despliegue de 5G dentro de un ecosistema orientado a la conectividad inclusiva, servicios gubernamentales electrónicos, competitividad empresarial y desarrollo sostenible (MINTEL, 2022b). Sus pilares estratégicos se centraron en: (1) la expansión de infraestructura digital y el cierre de la brecha urbano-rural, (2) el fortalecimiento de la ciberseguridad nacional y (3) la promoción del talento digital mediante formación técnica y académica.

Este documento de política pública dejó asentado que el 5G no es solo una mejora de velocidad, sino una herramienta de transformación social y económica. Bajo esa línea, los mecanismos de cooperación con organismos multilaterales y el sector privado han permitido estructurar el financiamiento de proyectos de conectividad rural y programas de capacitación técnica (MINTEL, 2022b; Garrido Terán, 2023). La articulación de esta agenda histórica con las estrategias vigentes de las operadoras privadas y la empresa pública CNT asegura la continuidad de los procesos de digitalización, alineando las metas estatales con las proyecciones de despliegue a largo plazo contempladas hasta 2038.

.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS INTEGRAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO Y EL MARCO REGULATORIO PARA REDES 5G EN ECUADOR

En este capítulo se analiza el estado actual del 5G en Ecuador bajo tres ejes: técnico, normativo y económico. El estudio utiliza como referencia los despliegues ya realizados en Perú y Colombia para medir la brecha tecnológica local. Para esto, se evalúan datos reales sobre la banda de 3.5 GHz, la densidad de celdas necesaria y los tiempos de latencia, cruzando esta información con las leyes que controlan el uso del espectro.

A diferencia del 4G, el despliegue de redes 5G exige que la disponibilidad técnica del espectro coincida con reglas claras para la inversión a largo plazo. Por este motivo, se revisan primero los reportes oficiales de la Arcotel y el Ministerio de Telecomunicaciones (Mintel), comparándolos después con los resultados obtenidos por el MinTIC en Colombia y el MTC en Perú.

El análisis identifica los obstáculos legales y técnicos que frenan la masificación del servicio en el país. Con esto, se establece una base de datos propia para la planificación del espectro en el periodo 2025–2030, determinando qué modelos regionales son viables para el mercado ecuatoriano.

3.1 Eje Normativo: Marco Regulatorio y Concesión de Espectro

Este apartado analiza las reglas jurídicas que controlan el uso del espectro en Ecuador. El enfoque no es solo legal, sino operativo: se busca entender si las leyes actuales permiten el despliegue masivo de infraestructura que el 5G exige, a diferencia de lo que ocurría con tecnologías anteriores.

3.1.1 *Identificación del marco legal vigente y particularidades frente al 4G*

La reforma a la LOT del 23 de abril de 2025 marca un antes y un después en la forma en que el Estado gestiona el sector. Lo más relevante es que la normativa deja de ver a las telecomunicaciones solo como una fuente de ingresos fiscales y empieza a tratarlas como una herramienta de desarrollo social (Asamblea Nacional del Ecuador, 2025).

A continuación, se analizan los puntos que favorecen el despliegue de redes de quinta generación y los desafíos que aún persisten:

Factores que impulsan el despliegue 5G:

- **Inversión directa del canon (Art. 91):** El cambio más fuerte es permitir que el 1% de la facturación de las operadoras se invierta directamente en infraestructura en lugar de ir a la caja común del Estado. Esto es vital para el 5G, ya que permite financiar el tendido de fibra óptica y estaciones base en zonas que antes no eran rentables.
- **Agilidad administrativa:** La reforma busca eliminar trabas burocráticas al permitir que la ARCOTEL autorice proyectos de conectividad de forma más directa. Para el 5G esto es clave, pues la tecnología requiere instalar una gran cantidad de antenas pequeñas (*small cells*) en poco tiempo.
- **Seguridad jurídica (Art. 116.1):** Al definir plazos claros para la prescripción de sanciones, se reduce la incertidumbre para los inversionistas. Un operador que sabe a qué reglas atenerse tiene más confianza para comprometer capital en proyectos de largo aliento como el 5G.

Puntos que todavía dificultan el avance:

- **Desconexión con los Gobiernos Locales:** Aunque la ley nacional se modernice, la instalación de antenas todavía choca con las ordenanzas municipales. Si los municipios no actualizan sus reglamentos para permitir el uso de postes y semáforos (mobiliario urbano), la ley nacional se queda sin efecto práctico.

- **Falta de incentivos fiscales específicos:** La reforma se centra en el uso del canon, pero aún no se contemplan exoneraciones claras para la importación de equipos 5G, lo que mantiene los costos operativos por las nubes en comparación con otros países de la región.
- **Concentración de metas en zonas rurales:** Si bien priorizar las zonas de frontera es un acto de justicia social, el 5G es una tecnología que brilla en la industria y en zonas urbanas densas. El riesgo es que la normativa obligue a invertir tanto en lo rural que se descuide la infraestructura necesaria para habilitar "Smart Cities" o puertos inteligentes en las ciudades.

3.1.2 *Seguridad jurídica y títulos habilitantes (2038)*

A pesar de los avances de la reforma legal, la teoría de la LOT necesita aterrizar en contratos específicos para que el 5G sea viable. De nada sirve una ley moderna si las operadoras tienen concesiones de corto plazo que no justifican la inversión en infraestructura pesada. Por esta razón, el análisis de la seguridad jurídica en Ecuador se centra en la reciente extensión de los títulos habilitantes, que funcionan como el motor real para el despliegue técnico.

3.1.2.1 Impacto de las concesiones y valoración del espectro

El panorama del 5G en Ecuador dio un paso determinante con la firma de las renovaciones de los contratos de Claro y Movistar, vigentes hasta el año 2038. Este gran paso no solo pone fin a años de incertidumbre, sino que garantiza una inversión de más de USD 1.550 millones (Suárez, 2025). Para el 5G, esto significa que las operadoras finalmente tienen el "piso jurídico" necesario para planificar despliegues de largo aliento bajo las siguientes condiciones estratégicas:

- **Control y Seguridad Jurídica:** La normativa actual (Resolución ARCOTEL-CTHB-CTDE-2025-0324) refuerza que los títulos habilitantes son intransferibles sin

autorización previa. Esto garantiza que el espectro, como recurso escaso, permanezca bajo el control estratégico del Estado, asegurando que las inversiones de Claro (USD 597 millones) y Tigo (USD 282 millones) se traduzcan en beneficios reales para el país (ARCOTEL, 2025c).

- **Inversión por Cobertura:** Del monto total de las renovaciones, una parte significativa se ejecutará mediante "Obligaciones de Hacer". Esto permite que el pago por el espectro se convierta directamente en la instalación de más de 600 nuevos sitios (4G o superior) y el despliegue de tecnología 5G mediante la adjudicación de nuevas bandas hasta el 2028.
- **Eficiencia Técnica Obligatoria:** Como respaldo a estas inversiones, el Informe ARCOTEL (2025a) formaliza la obligatoriedad de sincronizar las redes TDD (estructura 2,5 ms DDDSU). Esto asegura que la millonaria inversión de las telefónicas no se vea afectada por interferencias técnicas, garantizando la calidad del servicio.
- **El rol de CNT como dinamizador:** La meta de la estatal CNT de desplegar 422 radiobases 5G hasta 2026 marca el ritmo de la industria. Este movimiento obliga a las operadoras privadas a modernizar sus redes para mantener la competitividad, evitando que el mercado se estanque (ARCOTEL, 2025c; Bnamericas, 2025).

Con el mercado repartido entre Claro (53%), Movistar (29%) y CNT (18%), la estabilidad jurídica alcanzada por los próximos 12 años es, finalmente, el motor que permitirá que el 5G pase de ser un proyecto experimental a una realidad comercial en Ecuador.

3.1.3 *Fuentes y variables del análisis normativo*

El análisis de este eje se sustenta en fuentes oficiales de carácter técnico-legal, principalmente los registros del Registro Oficial de la Asamblea Nacional para la reforma de la LOT, y las resoluciones administrativas ARCOTEL-CTHB-CTDE-2025-0324, que detallan las condiciones de las concesiones actuales. Adicionalmente, se integraron reportes del

Ministerio de Telecomunicaciones (Mintel) para contrastar las metas de conectividad con la normativa vigente.

Para medir la robustez del sistema ecuatoriano en este apartado, se definieron tres variables operativas:

- **Seguridad Jurídica (N1):** Mide la estabilidad de los contratos frente a cambios de gobierno o normativa, utilizando el plazo de 2038 como indicador de confianza para el CAPEX.
- **Modelo de Concesión (N2):** Evalúa si el esquema de asignación es puramente recaudatorio o si permite el canje de tasas por infraestructura (Obligaciones de Hacer).
- **Agilidad Regulatoria (N3):** Analiza el tiempo y los pasos administrativos requeridos para la autorización de micro-celdas (*Small Cells*), comparando la normativa nacional frente a las trabas municipales identificadas.

3.1.4 *Síntesis de los hallazgos normativos*

Como cierre del análisis legal, la Tabla 10 resume los puntos detectados en el marco regulatorio ecuatoriano. En ella se contrastan los avances logrados con la reforma de la LOT frente a los obstáculos operativos que todavía condicionan el despliegue de la infraestructura 5G. Esta síntesis permite visualizar cómo la normativa impacta directamente en la viabilidad técnica y en los tiempos de ejecución del proyecto.

Tabla 10.

Síntesis de hallazgos normativos

Hallazgo Normativo	Impacto Técnico / Económico	Conclusión
Renovación de contratos hasta 2038	Estabilidad para el despliegue de infraestructura a largo plazo.	Ecuador cuenta con una ventana de 12 años de seguridad jurídica para la inversión en 5G.

Vacíos en ordenanzas municipales (GADs)	Retrasos en la instalación de micro-celdas (*Small Cells*).	La normativa nacional choca con la burocracia local, siendo el principal cuello de botella.
Modelo de "Obligaciones de Hacer"	Priorización de la cobertura sobre la recaudación fiscal inmediata.	El marco legal permite canjear tasas por infraestructura, facilitando la expansión rural.

Fuente: Elaboración propia

3.2 Eje Técnico: Gestión del Espectro e Infraestructura

Este apartado analiza la capacidad física y tecnológica de Ecuador para soportar redes de quinta generación. A diferencia de las bandas bajas usadas en 4G, el 5G requiere una gestión mucho más precisa del espectro radioeléctrico y una densificación de celdas que actualmente se encuentra en fase de diagnóstico y limpieza.

3.2.1 Estado de limpieza y disponibilidad de la banda 3.5 GHz

Para hablar de 5G en Ecuador, primero hay que mirar la banda de 3.5 GHz. Aunque es la frecuencia ideal por su capacidad, el problema es que no está vacía. Si revisamos el Plan Nacional de Frecuencias (2021), vemos que ese espacio todavía está ocupado por servicios de televisión satelital y enlaces de microondas que se instalaron hace años (ARCOTEL, 2021b).

Desde el punto de vista técnico, esto es un cuello de botella. El 5G necesita "carriles" anchos y seguidos (bloques contiguos) de unos 100 MHz para funcionar a máxima velocidad. En nuestro país, como la banda está fragmentada por estos servicios antiguos, los operadores no pueden desplegar una red comercial seria. Básicamente, mientras la ARCOTEL no termine de mover a esos usuarios actuales a otras frecuencias (lo que llamamos migración o limpieza), Ecuador seguirá limitado a realizar pruebas pequeñas en zonas controladas, en lugar de lanzar una red nacional.

3.2.2 Parámetros de sincronización y arquitectura de red

La transición hacia la quinta generación requiere una gestión multidimensional del espectro, enfocada en la disponibilidad de bloques de frecuencia contiguos que permitan alcanzar las tasas de transmisión de datos (Gbps) y la baja latencia prometidas por el estándar IMT-2020. De acuerdo con la Actualización Integral del Plan Nacional de Frecuencias (IT-CRDE-2025-041), la estrategia nacional se segmenta en tres capas de espectro:

1. Bandas de Cobertura (Bandas Bajas < 1 GHz)

- **Banda de 700 MHz:** Es el activo más crítico para la penetración en interiores (*deep indoor*) y la cobertura rural. Tras la finalización del proceso de apagón analógico en Ecuador, esta banda queda liberada para el despliegue de 5G, permitiendo que una sola antena cubra áreas geográficas extensas, optimizando los costos de capital (CAPEX) de los operadores. La gestión debe evitar la fragmentación de esta banda para permitir bloques de al menos 10+10 MHz por operador (ARCOTEL, 2025a).

2. Bandas de Capacidad (Bandas Medias 1 - 6 GHz)

- **Banda de 3.5 GHz (Banda C):** Identificada internacionalmente como la "banda reina" del 5G. Ecuador ha iniciado el proceso de limpieza y reordenamiento para asignar bloques contiguos de entre 80 y 100 MHz por operador.
- **Configuración TDD y Sincronización:** Conforme al informe técnico IT-CRDE-2025-041, se establece la obligatoriedad de sincronizar las redes empleando la estructura de trama de 2,5 ms (DDDSU). Esta medida es importante para evitar interferencias en el enlace ascendente (*uplink*) cuando múltiples redes operan en la misma zona geográfica, garantizando la coexistencia de Claro, Movistar y CNT.

3. Bandas de Alta Capacidad (Ondas Milimétricas o mmWave > 24 GHz)

- **Bandas de 26 GHz y 28 GHz:** Aunque su alcance es limitado (cientos de metros), su capacidad de transporte de datos es masiva.

- **Facilidades para Small Cells:** El despliegue en estas bandas depende directamente de la instalación de celdas pequeñas o *Small Cells*. La gestión del espectro en este nivel implica una simplificación administrativa en la obtención de permisos municipales, ya que estas micro antenas requieren una densidad mucho mayor que las macro celdas tradicionales.

Este despliegue de bandas se ejecutará, en una primera etapa, bajo una arquitectura Non-Standalone (NSA). Esta configuración permite a los operadores locales aprovechar el núcleo de red (*Core*) de 4G/LTE ya existente para las funciones de control, mientras se inyecta la capacidad del 5G exclusivamente en el plano de usuario a través de las nuevas bandas. Para el mercado ecuatoriano, esta es la ruta más eficiente, ya que reduce la inversión inicial necesaria y permite una transición gradual hacia el estándar Standalone (SA), donde la red será nativa y totalmente independiente

Más allá de la segmentación de bandas, la gestión del espectro bajo el modelo de 2025 debe orientarse hacia un esquema de neutralidad tecnológica. Esto implica que las licitaciones no deben restringir el uso de una banda a un solo estándar (como sucedió con el 4G), sino permitir que los operadores gestionen sus recursos de forma dinámica según la evolución de la demanda y la madurez de sus redes.

Sin embargo, la coexistencia de servicios es el reto técnico más inmediato. La limpieza de la banda de 3.5 GHz requiere desplazar servicios fijos y satelitales preexistentes que operan en rangos adyacentes. El éxito de esta transición depende de la aplicación de soluciones de mitigación, como el uso de filtros técnicos (LNB con rechazo de frecuencias inferiores a 3700 MHz), esenciales para proteger la recepción de televisión satelital y evitar la saturación de los receptores mientras se despliegan las radiobases 5G (ITU-R, 2017).

3.2.3 Variables técnicas e indicadores de desempeño

El análisis técnico de esta investigación no es solo documental; busca medir la viabilidad operativa del despliegue bajo los estándares IMT-2020 y las especificaciones del 3GPP Release 16. Para esto, se han definido indicadores específicos que permiten evaluar si la infraestructura en Ecuador podrá soportar el rendimiento real que exige el 5G.

Dentro de la dimensión técnica, se evalúan tres variables:

- **Eficiencia Espectral y Gestión (T1):** Utiliza como parámetros el ancho de banda (MHz) disponible en la banda de 3.5 GHz y la configuración de sincronización TDD. El objetivo es verificar si la segmentación actual del espectro permite un flujo de datos masivo sin interferencias en el *uplink* entre las distintas operadoras.
- **Escalabilidad de la Arquitectura (T2):** Se centra en las modalidades de despliegue (NSA vs. SA) y la dependencia del núcleo 4G actual. Este indicador es fundamental para evaluar la capacidad de la red para evolucionar hacia un entorno nativo 5G sin comprometer la estabilidad de los servicios existentes.
- **Densidad y Capacidad de Red (T3):** Analiza la densidad de celdas necesaria para la cobertura urbana y el uso de técnicas de red avanzadas. Esta variable permite detectar si la infraestructura física actual actúa como un cuello de botella para la tecnología o si permite la masificación de dispositivos conectados.

La integración de estos indicadores permite determinar si el ecosistema técnico ecuatoriano es suficientemente robusto para garantizar latencias bajas y altas velocidades de transmisión bajo condiciones de demanda real.

3.2.4 Síntesis de hallazgos técnicos

Para concluir el análisis de la dimensión técnica, en la Tabla 11 se resume los puntos más importantes. En ella se contrastan los indicadores T1, T2 y T3 con la realidad actual de la

infraestructura en Ecuador, permitiendo identificar las brechas que deben cerrarse para un despliegue exitoso:

Tabla 11.

Síntesis de hallazgos técnicos

Categoría de Análisis	Hallazgo Crítico / Diagnóstico	Impacto en el Proyecto
Espectro y Gestión	Bloques contiguos en 3.5 GHz identificados pero sujetos a limpieza de servicios fijos.	Riesgo de interferencias en zonas urbanas si no se aplican filtros LNB.
Arquitectura	El despliegue inicial será obligatoriamente Non-Standalone (NSA).	Rapidez de encendido, pero con latencia limitada por el núcleo 4G actual.
Densidad de Red	Déficit en la instalación de *Small Cells* por falta de homologación municipal.	La red podría saturarse en zonas de alta demanda (centros financieros/puertos).

Fuente: Elaboración propia

3.3 Eje Económico: Dinámica de Mercado y Modelos de Inversión

Para que el 5G no se quede solo en un despliegue técnico de antenas, el modelo de negocio tiene que ser viable. En Ecuador, el reto económico es doble: por un lado, las operadoras necesitan recuperar inversiones masivas en un mercado pequeño; y por otro, el Estado debe decidir si prefiere cobrar por el espectro para llenar la caja fiscal o si permite que ese dinero se invierta directamente en celdas y fibra.

Este análisis revisa cómo se está moviendo el dinero en el sector. Primero, evaluamos si los incentivos actuales, como el devengamiento de tasas, son suficientes para que las empresas asuman el riesgo del 5G. Segundo, analizamos la realidad del usuario: de nada sirve tener la red más rápida del mundo si el costo de los celulares compatibles sigue siendo una barrera para la mayoría de los ecuatorianos.

3.3.1 Modelo de Asignación y Costos: El incentivo al despliegue

Si bien el marco legal analizado en el punto 3.1.1 establece la obligatoriedad de la reinversión, económicamente estos incentivos alivian la estructura de costos de las operadoras ante el alto gasto que exige el 5G. Para entender su impacto, hay que aclarar que se trata de dos herramientas distintas que funcionan en paralelo. Por un lado, el 1% de las ventas va directo a un fideicomiso estatal para financiar becas y proyectos de educación digital. Por otro lado, las "Obligaciones de Hacer" (Art. 91 de la LOT) permiten que las empresas dejen de pagar en efectivo las tasas por el uso del espectro y, a cambio, instalen infraestructura directamente en las zonas asignadas por el regulador.

De esta forma, el pago por el espectro deja de ser un dinero que sale de la empresa hacia el Estado sin retorno (costo hundido). El mecanismo de "Obligaciones de Hacer" logra que ese capital se quede dentro de la red técnica de la operadora, lo que genera tres ventajas financieras principales:

- **Reducción del costo de oportunidad:** Las empresas no tienen que esperar a generar utilidades netas para reinvertir; el dinero se inyecta directamente desde la facturación bruta en infraestructura física.
- **Apalancamiento del CAPEX:** Al reducir el pago en efectivo por la concesión, las operadoras tienen mayor liquidez para importar equipos de red (nodos, antenas, fibra) que son significativamente más caros que los de 4G.
- **Sostenibilidad del retorno (ROI):** Con contratos extendidos a 2038, el modelo de costos permite amortizar la inversión en un plazo más realista, considerando que el mercado ecuatoriano tiene una tasa de retorno más lenta debido a su tamaño.

3.3.2 Dinámica de Mercado: Asequibilidad y Penetración

Para dimensionar el escenario donde se desplegará el 5G, se analizan los indicadores de madurez digital del país. La Figura 5 muestra que la infraestructura técnica no es el único

factor crítico; el éxito de la red depende de un ecosistema que actualmente presenta niveles desiguales.

Figura 5.

Puntuación de la madurez digital respecto al Ecuador



Fuente: (MINTEL, 2025)

Análisis de indicadores:

- **Déficit en Adopción Tecnológica (1.75):** Es el punto más bajo del diagnóstico. Confirma que, aunque se encienda la red 5G, la falta de terminales compatibles y de cultura digital operativa limitará el tráfico de datos inicial.
- **Fortaleza en Identidad Digital (5.78):** Ecuador tiene una base sólida para servicios que requieren alta seguridad, como banca móvil o trámites estatales, lo que facilita la implementación de casos de uso de 5G en el sector público.
- **Brecha en Incentivos Financieros (2.39):** El puntaje refleja la necesidad de agilizar los modelos de inversión (como el devengamiento) para que los operadores privados aceleren el despliegue de infraestructura sin comprometer su sostenibilidad económica.
- **Tecnología de Conectividad (3.67):** Este valor muestra un avance moderado, pero

resalta que la red actual (4G/LTE) todavía requiere optimización para servir como base (Anchor) en los despliegues 5G tipo NSA.

Este diagnóstico permite concluir que el despliegue técnico del 5G debe ir acompañado de una política agresiva de incentivos a la demanda, ya que la red física por sí sola no corregirá los bajos niveles de adopción tecnológica registrados.

3.3.3 Impacto Sectorial y Retorno de Inversión

El despliegue de la tecnología 5G en Ecuador no debe interpretarse únicamente como una mejora en la conectividad de consumo masivo, sino como una plataforma de habilitación para la transformación digital de los sectores estratégicos. La capacidad de gestionar miles de dispositivos por kilómetro cuadrado y la reducción de la latencia a niveles inferiores a los 10 milisegundos permiten la implementación de soluciones que en redes 4G resultaban ineficientes o técnicamente inviables.

La Tabla 12 detalla las oportunidades de aplicación del 5G en el contexto productivo ecuatoriano, identificando el impacto directo en la eficiencia operativa y la competitividad sectorial:

Tabla 12.

Matriz de Oportunidades por Sector Estratégico

Sector Estratégico	Aplicación Tecnológica 5G	Impacto en la Eficiencia y Competitividad
Logística y Puertos	Automatización de grúas y gestión de inventarios en tiempo real mediante *Internet of Things* (IoT) masivo en terminales como Guayaquil y Posorja	Reducción de tiempos de estiba y optimización de la cadena de suministro global.
Petróleo y Energía (E2)	Monitoreo remoto de oleoductos y pozos mediante sensores de baja latencia; uso de realidad aumentada para mantenimiento técnico especializado	Prevención de incidentes ambientales y reducción de paradas no programadas en la producción

Agricultura de Precisión (E3)	Redes de sensores para control hídrico y nutricional en tiempo real en bananeras y florícolas; uso de drones autónomos para fumigación selectiva.	Optimización de recursos hídricos, reducción de costos en agroquímicos y mejora en la calidad de exportación.
Educación y Salud	Telemedicina avanzada (diagnóstico por imagen en tiempo real) y teleducación interactiva en zonas rurales bajo el esquema de "Obligaciones de Hacer".	Cierre de la brecha social en localidades aisladas mediante servicios públicos de alta calidad.
Industria y Manufactura	Implementación de redes privadas 5G para el control de procesos robóticos y mantenimiento predictivo en plantas industriales.	Incremento en la seguridad laboral y reducción de desperdicios en líneas de producción.

Fuente: (Asamblea Nacional del Ecuador, 2025; MINTEL, 2025)

De esta matriz se desprende que el negocio del 5G en Ecuador no está en las llamadas o el video, sino en la eficiencia operativa. Sectores como la logística portuaria o la agroindustria son los que realmente pueden absorber el costo de la infraestructura, ya que la mejora en la conectividad impacta directamente en su productividad y, por ende, en el crecimiento del PIB sectorial.

3.3.4 Variables económicas e indicadores de desempeño

Para evaluar la viabilidad financiera del despliegue en el contexto actual de renovaciones y nuevas licitaciones, se han definido tres indicadores que permiten medir el éxito de la inversión:

- **Impacto del Modelo de Reinversión (E1):** Mide cómo el esquema de "Obligaciones de Hacer" y el devengamiento del 1% del canon afectan el flujo de caja de las operadoras. El objetivo es determinar si este alivio fiscal se traduce realmente en más antenas instaladas.
- **Índice de Asequibilidad de Terminales (E2):** Este indicador compara el precio de

los celulares 5G con el poder adquisitivo real en Ecuador. Es la variable que nos dice si la red será usada de forma masiva o si quedará limitada a un grupo pequeño por el costo de los equipos.

- **Rentabilidad en Sectores Estratégicos (E3):** Evalúa el potencial de ingresos que viene de las empresas (logística, industria, puertos). Este indicador sirve para validar si el sector corporativo puede "pagar" el despliegue inicial mientras el usuario común se decide a cambiar su tecnología.

3.3.5 Síntesis de hallazgos económicos

Para concluir el análisis del tercer eje, la Tabla 13 resume los puntos determinantes que marcarán la viabilidad financiera del 5G en el país. Este diagnóstico cruza la capacidad de inversión de las operadoras con la realidad del mercado nacional:

Tabla 13.

Síntesis de hallazgos económicos

Categoría de Análisis	Hallazgo Crítico / Diagnóstico Económico	Impacto en la Viabilidad
Asignación y Costos	El modelo de "Obligaciones de Hacer" es el principal motor de financiamiento para zonas no rentables.	Reduce la salida de divisas y garantiza que el capital se reinvierta en infraestructura local.
Asequibilidad	La baja madurez digital y el alto costo de terminales actúan como un freno para el consumo masivo.	El retorno de inversión dependerá inicialmente de nichos de mercado y planes de financiamiento.
Mercado Estratégico	Sectores como logística, puertos y agroindustria presentan el mayor potencial de ingresos inmediatos.	Justifica el despliegue de redes privadas y soluciones corporativas antes que el uso residencial masivo.

Fuente: Elaboración propia

3.4 Análisis Comparativo Preliminar: Brecha Tecnológica frente a los Modelos de Colombia y Perú

La evaluación del escenario ecuatoriano requiere un marco de referencia regional enfocado en Colombia y Perú, debido a las similitudes en sus mercados y regulación andina. Este análisis preliminar examina los mecanismos de adjudicación de espectro en la banda de 3.5 GHz, las condiciones de las licitaciones y los incentivos aplicados para movilizar el capital privado en esos países.

El estudio contrasta las limitaciones normativas y técnicas identificadas en el diagnóstico de Ecuador con las políticas que agilizaron el despliegue en los países vecinos, utilizando los criterios de referencia de la GSMA. El fin es determinar la viabilidad de adaptar estas estrategias al diseño de la hoja de ruta local, optimizando los tiempos de planificación e implantación de la infraestructura 5G.

En este bloque se establece la base de las diferencias regulatorias y de infraestructura, para tener como fundamento el desglose detallado de indicadores que se desarrolla más adelante.

3.4.1 El modelo de adjudicación por subasta en Colombia (2023) y sus obligaciones de cobertura rural

Colombia es el referente más claro de la región tras la subasta de espectro que realizó el Ministerio TIC (MinTIC) en diciembre de 2023. Lo interesante de este proceso es que rompió con el típico esquema recaudatorio donde el Estado solo busca recaudar dinero. En su lugar, el gobierno colombiano priorizó la conectividad mediante las "obligaciones de hacer". Este mecanismo legal permitió a operadoras como Claro, WOM, Telecall y la alianza entre Movistar y Telefónica pagar hasta el 60% del valor del espectro montando infraestructura directamente en áreas rurales olvidadas y carreteras principales.

Financieramente, esta estrategia ayudó a las empresas a aliviar el peso del gasto inicial (CAPEX) para entrar a la banda de 3.5 GHz y las bandas bajas. El modelo logró que la banda ancha móvil mejorada (eMBB) no se quedara guardada solo en las ciudades grandes o zonas comerciales. Las antenas empezaron a llegar a las periferias bajo indicadores técnicos controlados por la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC). Esta idea de cambiar tasas por cobertura es justo lo que busca Ecuador en sus reformas a la Ley de Telecomunicaciones, volviéndose un ejemplo real de cómo financiar estos despliegues.

En la práctica, los resultados de este modelo muestran que el mercado reaccionó rápido, tanto en infraestructura como en usuarios conectados:

- **Adopción y consumo de datos:** Los reportes de la CRC muestran que el 5G ya concentra el 12.4% de los accesos móviles del país. Este cambio hizo que el tráfico de datos subiera un 21.5% en comparación con el año anterior, lo que demuestra que los usuarios migraron rápido a planes y teléfonos compatibles (GOV.CO, 2024). Actualmente, el Ministerio TIC calcula que unos siete millones de personas navegan en 5G, sumando el impacto social de conectar escuelas públicas como parte de los acuerdos de la subasta (MINTIC, 2026).
- **El avance de las operadoras:** Cada empresa ha avanzado a su ritmo según sus planes comerciales. Claro va a la cabeza en cobertura urbana y zonas de alta demanda, con más de 2,200 estaciones base (gNodeB) activas en todo el país (bnamericas, 2026b). Por otro lado, Movistar cerró su primera etapa llegando a 99 ciudades y apunta a tener 1,185 nodos funcionando para finales de 2026, mejorando notablemente el alcance de su red (telefonica, 2026).

3.4.2 El esquema de neutralidad tecnológica y asignación en la banda de 3.5 GHz en Perú

Perú eligió un camino diferente y se enfocó en dar flexibilidad para apurar la instalación

de antenas. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y OSIPTEL usaron el principio de neutralidad tecnológica en la "banda dorada" de los 3.5 GHz (específicamente entre los 3.3 GHz y 3.8 GHz). Con esta regla, el gobierno permitió que las operadoras que ya tenían concesiones vigentes reorganizaran sus frecuencias mediante un proceso de *refarming*. Así, las empresas pudieron encender sus primeros nodos comerciales de 5G rápido, sin tener que esperar los largos plazos burocráticos de una subasta completa desde cero.

Técnicamente, la estrategia buscó asegurar bloques de espectro continuos y amplios en bandas medias para habilitar la banda ancha móvil mejorada (eMBB). Además, incluyeron el uso de bandas altas u ondas milimétricas (mmWave en 26 GHz) pensadas solo para puntos urbanos con demasiada demanda de tráfico. Otro punto importante fue la creación de sandboxes regulatorios, que son espacios de prueba donde las operadoras validaron velocidades de gigabits y latencias de menos de 10 milisegundos en sectores reales. Esto facilitó que la red pasara de una arquitectura híbrida (NSA) hacia una nativa (SA) sin ahogar financieramente al mercado.

En la práctica, esta agilidad para gestionar el espectro se nota en el avance de la infraestructura, las inversiones y el enfoque del negocio:

- **Despliegue masivo de antenas:** El MTC confirmó que Perú ya superó las 3,800 antenas 5G instaladas en su territorio. Al permitir el uso de las bandas actuales con el modelo de *refarming*, la tecnología llegó a las calles mucho antes de que se terminaran de licitar las nuevas bandas de frecuencia (gob.pe, 2026).
- **Inversión y competencia privada:** Se calcula que el despliegue de esta tecnología moverá más de 500 millones de dólares a mediano plazo en el país. Empresas como Claro, Entel y Movistar proyectan que sus inversiones en el sector crecerán entre un 20% y 25% durante este año. Como ejemplo, Entel anunció un plan de 650 millones de dólares (compartido con su operación en Chile) para fortalecer su red actual y explorar

proyectos de conectividad móvil por satélite (bnamericas, 2026a).

- **Enfoque en sectores productivos:** A diferencia de otros mercados de la región que apuntaron solo al consumidor común, Perú puso un peso fuerte en el uso del 5G para la industria. Aprovecharon la baja latencia de la red para automatizar procesos en sectores clave para su economía, como la minería a gran escala y la logística en los puertos.

3.4.3 Matriz de Benchmarking Regional y evaluación de subindicadores normativos, técnicos y económicos

Para estructurar los hallazgos de forma ordenada y medir la distancia real de Ecuador frente a Colombia y Perú, se organizan los criterios bajo una matriz de comparación unificada (Tabla 14). Los aspectos normativos, técnicos y económicos analizados a nivel nacional no pueden revisarse de forma separada; por ello, la siguiente tabla define los subindicadores basados en las recomendaciones de la GSMA para el rango de 3.3 GHz a 3.8 GHz. Esta herramienta servirá para evaluar las mejores prácticas de la región y aplicarlas al contexto local.

El análisis de esta matriz muestra que, aunque Colombia y Perú llevan la delantera en el encendido de redes comerciales por haber hecho sus procesos de subasta y *refarming* entre 2021 y 2023, Ecuador ha logrado consolidar una base legal importante. La firma de las renovaciones en los contratos de concesión con Claro y Movistar hasta el año 2038, sumada a los planes de la estatal CNT, asegura una ventana de 12 años de estabilidad jurídica. Esto es indispensable para dar confianza a las operadoras y garantizar el retorno de inversión (ROI) del CAPEX en infraestructura pesada.

Tabla 14.

Matriz de indicadores para el análisis comparativo 5G

Dimensión	Código	Subindicadores	Criterio de Evaluación
Normativa	**N1**	Seguridad Jurídica: Estabilidad de contratos frente a cambios de gobierno o normativa.	Comparación de plazos de concesión y niveles de confianza para la inversión (CAPEX).
	N2	Modelo de Concesión: Naturaleza del esquema de asignación de espectro.	Análisis del tipo de licitación: subasta por precio (recaudatoria) o basada en compromisos de inversión y cobertura.
	N3	Agilidad Regulatoria: Tiempos administrativos para la autorización de micro-celdas (*Small Cells*).	Evaluación de la normativa nacional para simplificar trámites y eliminar barreras municipales.
Técnica	**T1**	Eficiencia Espectral: Ancho de banda (MHz) en 3.5 GHz y configuración TDD.	Verificación de la limpieza de bandas y cantidad de espectro adjudicado por operador.
	T2	Escalabilidad de Arquitectura: Modalidades de despliegue (NSA vs. SA).	Evaluación de la hoja de ruta tecnológica y dependencia del núcleo de red 4G.
	T3	Densidad y Capacidad de Red: Infraestructura física y capacidad de masificación.	Análisis de la disponibilidad de sitios y uso de tecnologías avanzadas para evitar cuellos de botella.
Económica	**E1**	Impacto del Modelo de Reinversión: Mecanismos de incentivo financiero para el despliegue.	Evaluación de incentivos como el canje de tasas, exenciones fiscales o subsidios a la oferta.
	E2	Asequibilidad de Terminales: Barreras económicas para el acceso del usuario final.	Comparativa de precios de equipos 5G frente al salario mínimo y niveles de penetración.
	E3	Rentabilidad en Sectores Estratégicos: Potencial de retorno en la industria y empresas.	Análisis de proyectos piloto o comerciales en logística, puertos y minería.

Nota: Elaboración propia con base en lineamientos regionales para la banda 3.3–3.8 GHz (GSMA, 2020b) y modelos comparativos aplicados al contexto ecuatoriano.

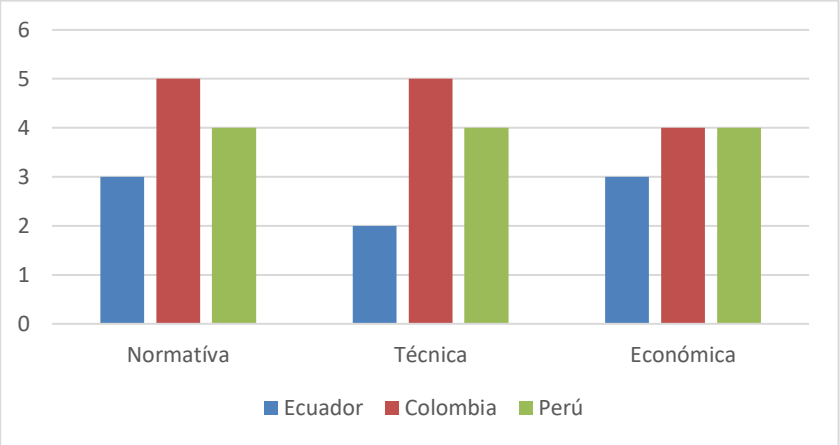
Los resultados técnicos de este capítulo demuestran que el verdadero desafío para el despliegue del 5G en Ecuador no está en las leyes macro o de telecomunicaciones, sino en la ejecución operativa. Las prioridades urgentes se concentran en terminar la limpieza técnica de la banda media de 3.5 GHz y coordinar activamente con los Gobiernos Autónomos

Descentralizados (GAD). Esto es primordial para homologar las ordenanzas municipales y eliminar las trabas burocráticas que frenan la instalación masiva de *Small Cells*.

Para resumir los resultados, los subindicadores de cada dimensión se agruparon en una escala cualitativa de cinco niveles, desde muy bajo hasta muy alto. Con esta valoración se representó el avance relativo de cada país de manera gráfica. Los valores no corresponden a un índice estadístico, sino a una síntesis de la información documental analizada. El resultado se detalla en la Figura 6:

Figura 6.

Evaluación comparativa por dimensiones del desarrollo 5G entre Ecuador, Colombia y Perú.



Fuente: Elaboración propia

La Figura refleja claramente que Colombia lidera los tres ejes tras consolidar su subasta de finales de 2023, la cual equilibró la recaudación fiscal con la expansión obligatoria en zonas rurales. Perú se mantiene muy cerca debido a la agilidad del *refarming* en la banda de 3.5 GHz, lo que aceleró la instalación de infraestructura sin esperar los tiempos de una licitación. Por su parte, Ecuador muestra su mejor desempeño en la parte normativa gracias a la seguridad jurídica de las renovaciones contractuales hasta 2038, pero mantiene una brecha técnica importante debido al proceso pendiente de limpieza de bandas y la falta de homologación en los trámites municipales.

Con este diagnóstico técnico concluye la revisión del escenario ecuatoriano. Los

parámetros analizados quedan listos para examinar a fondo la situación de los mercados vecinos en el próximo capítulo.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS PARA LA ADOPCIÓN DE REDES 5G EN ECUADOR

En este capítulo analizamos qué tan listo está Ecuador para dar el salto a la tecnología 5G. La idea no es repetir la teoría de cómo funciona este estándar, sino revisar la realidad de lo que va a pasar cuando las operadoras tengan que instalar las antenas en las calles y cuando las instituciones del Estado deban fijar las normativas del sector. Para entender la situación del país, revisamos tres temas que definen el rumbo de las telecomunicaciones: los contratos de concesión, la parte técnica de la red y el dinero que se necesita para financiar los proyectos.

Como no podemos analizar a Ecuador de forma aislada, comparamos nuestros datos con los procesos que ya ejecutaron Colombia y Perú. Ver la experiencia de los vecinos nos sirve para identificar qué normativas les funcionaron y cuáles no, sobre todo en temas complejos como la asignación de frecuencias de radio, las trabas que ponen los municipios para dar permisos de construcción y los costos de los equipos.

Al final del capítulo, ordenamos toda esta información en matrices estratégicas donde cruzamos los problemas locales contra las oportunidades reales de desarrollo. Con esto buscamos dejar en claro en qué sectores específicos se puede recuperar la inversión más rápido como los puertos o las industrias de exportación y qué cambios urgentes se deben hacer en la regulación para que el 5G se despliegue de forma eficiente en beneficio de los usuarios.

4.1 Introducción y Enfoque Metodológico Propositivo

En este capítulo se define la propuesta de la investigación. El objetivo es evaluar el escenario de Ecuador para recibir la tecnología 5G, tomando como referencia las soluciones que ya aplicaron Colombia y Perú. La idea no es repetir el diagnóstico del país, sino usar la experiencia de los vecinos para encontrar salidas viables a los problemas locales.

Para mantener el orden, el análisis se divide en los mismos ejes normativo, técnico y

económico del capítulo anterior. Cada uno de los nueve subindicadores se revisa desde dos ángulos: las trabas actuales del mercado ecuatoriano y las opciones de mejora que abren las prácticas regionales.

El capítulo arranca con la evaluación individual de estos puntos, pasa a clasificar las propuestas en matrices de oportunidades y desafíos, y termina con un mapa de viabilidad que resume las tareas urgentes entre el gobierno, el regulador y las operadoras privadas.

4.2 Análisis Técnico-Regulatorio por Subindicadores: Oportunidades y Desafíos

Para ver dónde está Ecuador frente al 5G, se ordenó los problemas y las ventajas del país usando tres matrices FODA. Así se evita repetir datos y se deja claro el panorama legal, técnico y económico que afronta el proyecto.

4.2.1 Matriz FODA del Indicador Normativo

Figura 7.

Matriz FODA del Indicador Normativo



Fuente: Elaboración propia

Los problemas legales y la demora en los trámites con el Estado son los primeros obstáculos que frenan la instalación de la red. En la Figura 7 se resumen estos factores, donde la firma de los contratos hasta 2038 da la seguridad que las empresas necesitan para invertir a largo plazo, aunque todavía faltan reglas claras por parte de la ARCOTEL para evitar que los municipios detengan las obras con sus propias ordenanzas.

4.2.2 Matriz FODA del Indicador Técnico

La instalación de las antenas y el uso de las frecuencias exigen soluciones de ingeniería rápidas para que la señal funcione bien. En la Figura 8 se muestra la situación técnica actual del país, destacando los primeros nodos ya encendidos por CNT, frente al reto urgente de limpiar por completo la banda de 3.5 GHz para eliminar las interferencias con la televisión satelital antigua.

Figura 8.

Matriz FODA del Indicador Técnico



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Matriz FODA del Indicador Económico

Para que el proyecto se sostenga, las operadoras necesitan recuperar el dinero invertido y el mercado debe tener la capacidad de pagar por el servicio. En la Figura 9 se analiza la parte financiera, identificando el potencial que tienen los puertos y las industrias de exportación para adoptar el 5G rápido, lo que compensa el bajo consumo económico que registra el usuario común en sus planes móviles.

Figura 9.

Matriz FODA del Indicador Económico



Fuente: Elaboración propia

4.3 Matrices Estratégicas para la Adopción de Redes 5G en Ecuador

Para aterrizar los problemas encontrados en soluciones reales, es necesario armar una hoja de ruta con acciones claras. La experiencia de Colombia y Perú nos da la base técnica para diseñar un modelo que funcione en Ecuador, tomando en cuenta la economía del país y las leyes vigentes. Este plan se organiza en dos tablas estratégicas pensadas tanto para las decisiones del Gobierno como para las inversiones de las operadoras privadas.

4.3.1 Matriz de Propuestas y Oportunidades de Mejora para el País

Esta tabla concentra las soluciones propuestas para cada subindicador. Las ideas nacen directamente de los aciertos en las políticas y subastas de la región, buscando que los operadores tengan un camino financieramente sostenible y reglas claras antes de encender sus redes. La Tabla 24 detalla estas propuestas de mejora:

Tabla 15.

Matriz de propuestas y oportunidades de mejora basadas en la región

Subindicador	¿Qué propondremos hacer en Ecuador?	¿En qué experiencia regional nos basamos?	¿Cuál es la meta o impacto esperado?
N1. Renovación de Concesiones	Cobrar la renovación de contratos mediante el despliegue de infraestructura y no con pagos en efectivo al Estado	**Colombia:** Diseñó su subasta priorizando el beneficio social y la inversión en redes por encima de la recaudación fiscal.	Dar seguridad jurídica a los operadores por 15 años y evitar cortes en el servicio al vencer los contratos.
N2. Modelo de Concesión	Usar el Artículo 91 de la LOT para cambiar el pago de tasas del canon por obras físicas en zonas rurales y fronterizas.	**Colombia:** Permitió pagar hasta el 60% del valor del espectro con "obligaciones de hacer" en zonas desconectadas.	Financiar antenas en sectores vulnerables usando el flujo de caja operativo de Claro y Movistar.
N3. Agilidad Regulatoria	Crear una norma nacional que fije un precio único por usar postes y semáforos, aplicando aprobación automática para microceldas.	**Colombia:** Permitió pagar hasta el 60% del valor del espectro con "obligaciones de hacer" en zonas desconectadas.	Bajar el tiempo de los trámites en los municipios (GADs) de 180 días a solo 15 días hábiles.
T1. Eficiencia Espectral	Licitar bloques limpios y continuos de 80 a 100 MHz por operador en la banda de 3.5 GHz, con sincronización TDD obligatoria (trama 2.5 ms DDDSU).	**Colombia:** Entregó bloques contiguos de 80 MHz a cuatro operadores en la banda troncal de 3.5 GHz.	Conseguir velocidades Gigabit reales y evitar que las antenas de las operadoras se interfieran entre sí.

T2. Arquitectura de Red	Arrancar comercialmente con el modelo Non-Standalone (NSA) para encender la red rápido, fijando plazos para migrar a Standalone (SA).	**Perú:** Inició con NSA para internet fijo y luego incentivó la migración a SA para automatizar la minería.	Lanzar el servicio en menos de 6 meses aprovechando las torres y redes de transporte que ya existen.
T3. Densificación y Neutralidad	Permitir que las bandas de 700 MHz y 2.5 GHz transmitan 4G y 5G al mismo tiempo usando tecnología DSS, sin cobrar tasas extra.	**Colombia:** Reutilizó sus bandas activas mediante DSS para dar cobertura rápida en ciudades mientras armaba la red de 3.5 GHz.	Ayudar a cumplir las metas de infraestructura: CNT al 2026 (422 nodos) y operadoras privadas al 2028.
E1. Sostenibilidad Financiera	Promover el modelo de "Infraco" para que una sola empresa monte las torres y la fibra, y varios operadores las alquilen juntos.	**Perú:** Impulsó operadores neutros de infraestructura mayorista para abaratar los costos de obra civil.	Reducir hasta un 30% los gastos de instalación (CAPEX) y operación (OPEX) en las zonas urbanas.
E2. Asequibilidad	Pedir al COMEX que elimine los aranceles de importación para teléfonos 5G de gama media y baja homologados.	**Perú:** Quitó impuestos a los smartphones nuevos para que la población acceda a equipos más baratos.	Bajar los precios de los teléfonos y elevar el índice de madurez digital del MINTEL, que hoy está en un bajo 1.75.
E3. Dinamización Sectorial	Reservar canales de espectro para redes privadas (*Network Slicing*) enfocadas en puertos, petróleo y agroexportación.	**Colombia:** Creó proyectos piloto para automatizar puertos logísticos y controlar inventarios con 5G en tiempo real.	Generar ingresos inmediatos controlando la logística en los puertos de Guayaquil/Posorja, camaroneras y florícolas.

Nota: Elaboración propia basada en las subastas de espectro regionales y las leyes de telecomunicaciones de Ecuador.

4.3.2 Matriz de Desafíos y Nuevos Contextos Técnicos-Regulatorios

Esta segunda tabla funciona como el espejo de la anterior, pero enfocada en los riesgos

reales que pueden frenar el proyecto. Aquí se analizan los obstáculos administrativos de los municipios, las limitaciones físicas de las redes actuales y los problemas económicos del mercado local, planteando una acción de mitigación clara para cada riesgo. La Tabla 25 detalla estos desafíos operativos:

Tabla 16.

Matriz de desafíos operativos, riesgos y acciones de mitigación

Subindicador	¿Cuál es el obstáculo operativo local?	¿Qué pasa si no se controla? (Riesgo)	¿Cómo mitigarlo basados en la región?
N1. Renovación de Concesiones	Falta de un reglamento claro en la ARCOTEL para valorar económicamente el espectro basándose en inversión social.	Que las negociaciones contractuales se congelen por cálculo político, retrasando el encendido de la red.	Fijar por decreto ejecutivo que el valor del espectro priorice la cobertura física sobre la recaudación, como hizo Colombia.
N2. Modelo de Concesión	Burocracia interna para auditar y aprobar que las obras ejecutadas equivalgan al pago de las tasas del canon.	Que las operadoras prefieran pagar en efectivo al Estado antes que enredarse en trámites de aprobación de obras.	Crear mesas técnicas permanentes ARCOTEL-Operadores con auditorías externas trimestrales para validar los despliegues rápidamente.
N3. Agilidad Regulatoria	Resistencia de los municipios (GADs) a perder autonomía en el cobro de tasas por uso de suelo y postes.	Un despliegue fragmentado donde el 5G funcione en Guayaquil o Quito, pero quede bloqueado en cantones pequeños.	Aplicar el marco del COOTAD para emitir una ordenanza modelo nacional, penalizando a los GADs que bloqueen el acceso a la infraestructura.
T1. Eficiencia Espectral	Presencia de servicios antiguos de TV satelital (Banda C) ocupando frecuencias cercanas a la banda de 3.5 GHz.	Interferencias graves en la señal de subida (*Uplink*), provocando cortes en las llamadas y pérdida de velocidad.	Implementar filtros pasa-banda (LNB) como mitigación temporal inmediata ante interferencias satelitales en la Banda C, articulados a un plan progresivo de *refarming* y migración definitiva coordinado

			por la ARCOTEL para garantizar la liberación total de los bloques de la banda de 3.5 GHz.
T2. Arquitectura de Red	El núcleo de red (*Core*) de 4G/LTE actual está saturado y no soporta los requerimientos nativos de baja latencia.	Quedarse estancados permanentemente en redes NSA, ofreciendo más velocidad, pero sin capacidad para uso industrial.	Diseñar la licitación exigiendo por contrato el apagado progresivo del Core 4G y la inversión obligatoria en nodos Standalone (SA).
T3. Densificación y Neutralidad	Retraso en el tendido de fibra óptica urbana para conectar las nuevas antenas pequeñas (*Backhaul*).	Cuellos de botella donde las antenas 5G se queden sin capacidad de transporte, anulando el beneficio de la velocidad.	Exigir la compartición obligatoria de la red de fibra óptica de la estatal CNT y ductos públicos a precios regulados.
E1. Sostenibilidad Financiera	Los operadores privados locales compiten agresivamente por precio, reduciendo el margen de ganancia para invertir.	Que Claro y Tigo (OTECEL) posterguen la compra de hardware de última generación para cuidar su flujo de caja.	Validar legalmente los acuerdos de co-inversión de red activa (*RAN Sharing*) para que compartan los costos de instalación pesados.
E2. Asequibilidad	El poder adquisitivo del usuario ecuatoriano promedio está golpeado, priorizando planes prepago muy baratos.	Que la red 5G esté encendida pero vacía porque la población no tiene dinero para cambiar sus teléfonos actuales.	Habilitar incentivos fiscales a comercios locales para la venta a plazos de terminales 5G sin intereses ni recargos logísticos.
E3. Dinamización Sectorial	Las industrias locales (puertos, bananeras, florícolas) desconocen cómo integrar IoT o automatización en sus procesos.	Que el 5G se use solo para consumo residencial de video, perdiendo el impacto real en el Producto Interno Bruto (PIB).	Crear laboratorios tecnológicos financiados por el MINTEL y las universidades para diseñar casos de uso junto a los gremios productivos.

Nota: Elaboración propia basada en las limitaciones de infraestructura identificadas en Ecuador y los modelos de gestión de riesgo del entorno regional.

4.4 Síntesis y Diagnóstico Final del Capítulo

El análisis detallado de los factores normativos, técnicos y económicos demuestra que la implementación de redes 5G en Ecuador no depende de la disponibilidad de la tecnología, sino de la velocidad con la que el marco regulatorio se adapte a las necesidades del mercado actual. Las experiencias de Colombia y Perú dejan en claro que los países que lideran el despliegue regional son aquellos que redujeron las barreras administrativas e incentivaron la inversión en infraestructura por encima de la recaudación de impuestos.

4.4.1 Matriz Conclusiva de Viabilidad Estratégica

Esta última matriz cruza directamente las oportunidades comerciales y de ingeniería más importantes frente a los desafíos críticos del entorno local. El objetivo es ofrecer un diagnóstico técnico final que sirva como conclusión del capítulo, estableciendo el balance real de viabilidad para el país. La Tabla 26 presenta esta síntesis estratégica:

Tabla 17.

Matriz conclusiva de viabilidad estratégica para el despliegue de 5G

Oportunidad Identificada	Desafío a Superar	Diagnóstico Técnico de Viabilidad
Inyección de USD 1.550 millones en la red: Conversión del costo de concesión de Claro y Movistar en infraestructura física directa.	**Lentitud en la recuperación de la inversión (ROI):** Mercado local reducido, con ingresos estancados (ARPU) y predominio de planes prepago.	**Viable si se protege el flujo de caja:** El proyecto es sostenible únicamente si ARCOTEL elimina los pagos en efectivo al Estado y permite que el 100% de la valoración del espectro se traduzca en antenas instaladas en el terreno.
Habilitación de velocidades Gigabit reales: Adjudicación de bloques contiguos de 80 a 100 MHz en la banda reina de 3.5 GHz.	**Interferencias con servicios antiguos:** Presencia de señales de TV satelital (Banda C) y necesidad de sincronización TDD (trama 2.5 ms).	**Viable con limpieza técnica obligatoria:** Es totalmente factible alcanzar tasas de velocidad Gigabit si se exige por contrato la instalación de filtros LNB en las parabólicas existentes y se homologa una sola estructura de trama para todos los operadores.
Cobertura extendida e IoT	**Déficit físico de radiobases:**	**Viable con neutralidad**

vía Espectro Dinámico (DSS): Reutilización inmediata de las bandas de 700 MHz y 2.5 GHz para dar señal sin esperar nuevas antenas dedicadas.	Cumplimiento estricto de las metas de despliegue nacional (422 nodos de CNT al 2026 y fases privadas al 2028).	**tecnológica real:** La meta de conectividad se cumplirá a tiempo si el regulador permite el uso libre de DSS, aliviando la presión de obra civil inicial mientras se construyen las nuevas estaciones de 3.5 GHz.
Monetización industrial e ingresos inmediatos: Redes privadas virtuales (*Network Slicing*) para los puertos de Guayaquil/Posorja, minería, petróleo y agroexportación.	**Baja madurez digital (1.75 según MINTEL):** Desconexión operativa entre la tecnología avanzada de las telefónicas y la capacidad real de absorción de las empresas locales.	**Viable priorizando los polos económicos:** El verdadero retorno financiero no vendrá del usuario común, sino de los sectores estratégicos. Se debe priorizar la cobertura en terminales logísticos y puertos antes que la cobertura residencial masiva.
Instalación masiva de microceldas urbanas: Uso de infraestructura existente (postes, semáforos, fachadas) para densificar la red en zonas críticas.	**Bloqueos administrativos en los municipios:** Trámites de obra civil lentos (hasta 180 días) y cobros fragmentados de tasas por los GADs.	**Viable mediante una norma nacional unificada:** La densificación de antenas solo será posible si el Gobierno central emite una regulación obligatoria para los municipios que fije precios máximos por postes y aplique el silencio administrativo positivo.

Nota: Elaboración propia a partir del cruce de datos del diagnóstico normativo, técnico y económico del estudio.

4.4.2 Recomendaciones Estratégicas por Subindicador

A partir de los problemas identificados en el mercado ecuatoriano y las experiencias de Colombia y Perú, se plantean acciones concretas para viabilizar el despliegue del 5G. Estas medidas están enfocadas en reducir los costos de instalación para las operadoras y simplificar los trámites legales del Estado, tal como se detalla en la Tabla 27:

Tabla 18.

Recomendaciones para el despliegue de 5G en Ecuador

Subindicador	Recomendación Técnica y Regulatoria
N1. Renovación de Concesiones	Cambiar los reglamentos de la ARCOTEL para que el valor de renovación de contratos se pague instalando infraestructura física en lugar de transferir dinero en efectivo al Estado.
N2. Modelo de Concesión	Aplicar el Artículo 91 de la LOT para que Claro y Movistar canjeen las tasas anuales del canon por el despliegue directo de radiobases en zonas rurales y carreteras.
N3. Agilidad Regulatoria	Emitir una normativa nacional obligatoria desde el MINTEL que unifique los cobros de los GADs y aplique la aprobación automática para instalar microceldas urbanas.
T1. Eficiencia Espectral	Diseñar la subasta de la banda de 3.5 GHz entregando bloques continuos de mínimo 80 MHz por operador, obligando a usar la sincronización TDD (trama 2.5 ms DDDSU) contra interferencias.
T2. Arquitectura de Red	Permitir el encendido de la red bajo la arquitectura Non-Standalone (NSA) para aprovechar las torres 4G operativas, fijando plazos de migración a Standalone (SA) solo en zonas industriales.
T3. Densificación y Neutralidad	Liberar el uso de la tecnología DSS en las bandas de 700 MHz y 2.5 GHz sin cobrar tasas extra, facilitando el cumplimiento de la meta de 422 nodos de CNT al 2026.
E1. Sostenibilidad Financiera	Aprobar legalmente los acuerdos de compartición de red activa (RAN Sharing) y empresas de infraestructura neutra (Infraco) para reducir un 30% los costos de obra civil.
E2. Asequibilidad	Eliminar mediante el COMEX los aranceles de importación para teléfonos 5G de gama media y baja, buscando bajar el precio de los equipos y subir el índice de madurez digital de 1.75 del MINTEL.
E3. Dinamización Sectorial	Crear un plan de asignación de espectro para redes privadas (Network Slicing) enfocado en automatizar los puertos de Guayaquil y Posorja, el sector petrolero y las áreas bananeras y florícolas.

Nota: Elaboración propia basada en las brechas técnico-económicas de Ecuador y las experiencias de Colombia y Perú.

CONCLUSIONES

- Las leyes y reglamentos actuales en Ecuador están pensados para redes 4G antiguas y no sirven para el 5G. Mientras el 4G funciona con antenas grandes y distantes, el 5G exige miles de antenas pequeñas puestas en postes y semáforos urbanos. Como la ARCOTEL no ha actualizado las reglas para unificar los permisos en los municipios, el despliegue de las frecuencias asignadas en los nuevos contratos corre el riesgo de estancarse en trámites burocráticos, convirtiendo a los vacíos legales de los cantones en el principal freno para el encendido masivo de la red.
- El éxito del 5G en el país depende de resolver tres problemas urgentes. En lo técnico, se deben limpiar las interferencias de la banda de 3.5 GHz y obligar a una sincronización de red idéntica para evitar cortes de señal. En lo administrativo, las trabas de los municipios para dar permisos de construcción retrasan las obras. Y en lo económico, el Estado debe entender que el cobro de las nuevas licencias no debe ahogar financieramente a Claro y a la nueva administración de Millicom (Tigo), considerando que el consumo promedio de los usuarios locales sigue siendo bajo.
- Al revisar las experiencias de Colombia y Perú, queda claro que Ecuador tomó una decisión acertada al no licitar el 5G por separado, sino meter las frecuencias dentro del paquete de renovación de contratos hasta 2038. Esto permite replicar el modelo colombiano de cambiar tasas fiscales por infraestructura rural. Además, el acuerdo local innova al obligar a las operadoras a entregar el 1% de sus ventas anuales para un fideicomiso nacional destinado a becas, tecnología e infraestructura universitaria. Para que estos fondos y los USD 1.550 millones proyectados se traduzcan en desarrollo real, se necesita copiar el modelo peruano de aprobación automática para antenas pequeñas, agilizando el encendido en las calles.

- La adopción del 5G en el país es viable solo si el despliegue inicial se concentra en los sectores que pueden pagar la tecnología y recuperar la inversión rápido. El negocio real a corto plazo no está en el mercado residencial, sino en las redes privadas para automatizar los puertos de Guayaquil y Posorja, los campos petroleros y las industrias de exportación bananera y florícola. Este enfoque industrial complementará los esfuerzos del sector público, permitiendo empatar las inversiones de las privadas con la primera fase ya ejecutada por la estatal CNT, que encendió sus primeras 422 estaciones base en Quito.

RECOMNEDACIONES

- Se recomienda que la ARCOTEL y el MINTEL actualicen de forma urgente el marco regulatorio nacional, diseñando un reglamento específico para el despliegue de infraestructura 5G. Esta normativa debe quitar a los municipios la facultad de fijar reglas y cobros de forma aislada, creando una ordenanza única para todo el país. Además, se debe normar el uso compartido de bienes públicos como postes, semáforos y luminarias, permitiendo que las operadoras instalen microceldas urbanas de manera ágil y sin enfrentar trabas burocráticas locales.
- Para solucionar los problemas técnicos y económicos que frenan el encendido de la red, el Gobierno debe acelerar la limpieza total de la banda de 3.5 GHz, reubicando a las empresas de televisión satelital o servicios antiguos que todavía ocupan esas frecuencias. Asimismo, la ARCOTEL debe establecer por ley un esquema obligatorio de sincronización de red (trama TDD) para evitar interferencias entre operadoras vecinas, y revisar las tasas del canon anual para que los pagos de Claro y la nueva administración de Millicom (Tigo) no afecten sus presupuestos de inversión en el terreno.
- Se recomienda aprovechar la estructura de los nuevos contratos de concesión firmados hasta 2038 para asegurar que los USD 1.550 millones proyectados se inviertan con prioridad social. El MINTEL debe fiscalizar estrictamente que las "obligaciones de hacer" se cumplan conectando escuelas rurales y carreteras secundarias, emulando el modelo exitoso de Colombia. Al mismo tiempo, se debe aplicar el modelo de Perú mediante el "silencio administrativo positivo", lo que significa que, si un municipio no responde a un trámite de antena pequeña en un plazo corto, la operadora queda autorizada automáticamente para instalarla.
- Para que el fideicomiso del 1% de las ventas anuales de las operadoras tenga un impacto

real, se recomienda crear un comité técnico entre el Gobierno y las universidades públicas que garantice que ese dinero vaya directo a laboratorios de telecomunicaciones, becas de conectividad y desarrollo de software local. Finalmente, la adopción del 5G debe impulsarse mediante incentivos fiscales, como la eliminación temporal de aranceles para teléfonos 5G y equipos industriales, priorizando el despliegue de redes privadas en los puertos de Guayaquil y Posorja, zonas petroleras y áreas agrícolas de exportación.

BIBLIOGRAFÍA

3GPP. (2024). *Third Generation Partnership Project*. http://www.3gpp.org

5gamericas. (2018). *Wireless Technology Evolution: Transition from 4G to 5G*. https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/3GPP_Rel_14-16_10.22-final_for_upload.pdf

Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S., Lozano, A., Soong, A. C. K., & Zhang, J. C. (2014a). *What Will 5G Be?* http://arxiv.org/abs/1405.2957

Andrews, J. G., Buzzi, S., Choi, W., Hanly, S. V., Lozano, A., Soong, A. C. K., & Zhang, J. C. (2014b). What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, *32*(6), 1065–1082. https://doi.org/10.1109/JSAC.2014.2328098

ARCOTEL. (2021a). *PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS*.

ARCOTEL. (2021b). *Plan Nacional de Frecuencias 2021*.

ARCOTEL. (2024). *Boletín Estadistico*. https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2024/09/Boletin-cierre-2023_sz.pdf

ARCOTEL. (2025a). *Informe Técnico Nro. IT-CRDE-2025-041 INFORME PARA CONSULTAS PÚBLICAS DEL PROYECTO NORMATIVO REFERENTE A LA "ACTUALIZACIÓN INTEGRAL DEL PLAN NACIONAL DE FRECUENCIAS."*

ARCOTEL. (2025b). *Mapa de cobertura Servicio Móvil Avanzado (SMA)* . https://www.arcotel.gob.ec/mapa-de-cobertura-servicio-movil-avanzado-sma/#cnt

ARCOTEL. (2025c). *Resolución Nro. ARCOTEL-CTHB-CTDE-2025-0324*.

Asamblea Nacional del Ecuador. (2025). *56 leyes aprobadas: Asamblea Nacional aprobó Ley Orgánica Reformatoria a la Ley de Telecomunicaciones*. https://www.asambleanacional.gob.ec/es/noticia/105309-56-leyes-aprobadas-asamblea-nacional-aprobo-ley

Bauer, J. M., & Bohlin, E. (2022). Regulation and innovation in 5G markets. *Telecommunications Policy*, *46*(4). https://doi.org/10.1016/j.telpol.2021.102260

Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación* (PEARSON, Ed.; 4th ed.). https://bibliotecadigital.utn.edu.ec/files/original/fb0b0cfee2ae990609933d17c6890848960051aa.pdf

Bnamericas. (2025). *Ecuador estrena era 5G: CNT lidera con 422 radiobases hasta 2026 - BNamericas*. https://www.bnamericas.com/es/noticias/ecuador-estrena-era-5g-cnt-lidera-con-422-radiobases-hasta-2026

bnamericas. (2026a). *Cómo avanzan las inversiones de 5G en Perú - BNamericas*. https://www.bnamericas.com/es/reportajes/como-avanzan-las-inversiones-de-5g-en-peru

bnamericas. (2026b). *Operadores aceleran despliegue 5G en Ecuador y Colombia - BNamericas*. https://www.bnamericas.com/es/noticias/operadores-aceleran-despliegue-5g-en-ecuador-y-colombia

Campos, N. O., & Cavada, J. C. (2021). Análisis para la implementación de la tecnología 5g basados en el modelo GSMA y su interacción con el internet de las cosas en Ecuador. *RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (43), 38–54. https://doi.org/10.17013/risti.40.38-54

Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, Jh. (2020). *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology* (Academic Press, Ed.; Vol. 2). https://ie.u-ryukyu.ac.jp/~wada/system18/5G_Book.pdf

De León, O. (2022). Redes 5G en América Latina Desarrollo y potencialidades. *CEPAL*. www.issuu.com/publicacionescepal/stacks

ETSI. (2022). *5G; NR; Services provided by the physical layer (3GPP TS 38.202 version 17.2.0 Release 17)*. *17.2.0*. https://portal.etsi.org/TB/ETSIDeliverableStatus.aspx

ETSI. (2024). *5G; System architecture for the 5G System (5GS) . 18*. https://portal.etsi.org/TB/ETSIDeliverableStatus.aspx

gob.pe. (2026). *Perú acelera el despliegue de 5G con más de 3,800 antenas instaladas - Noticias - Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Plataforma del Estado Peruano*. https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/1371695-peru-acelera-el-despliegue-de-5g-con-mas-de-3-800-antenas-instaladas

GOV.CO. (2024). *Conectividad móvil en Colombia: 5G sigue creciendo y ya representa el 12,4% de los accesos a internet móvil*. https://www.crcom.gov.co/es/noticias/comunicado-prensa/conectividad-movil-en-colombia-5g-sigue-creciendo-y-ya-representa-124

GSMA. (2023). *5G Non-Stand Alone vs. 5G Stand Alone: Esta es la diferencia*. https://www.gsma.com/about-us/regions/latin-america/es/5g-non-stand-alone-vs-5g-stand-alone-esta-es-la-diferencia/

Gsma. (2025). *La economía móvil en América Latina 2025*. www.gsmaintelligence.com

GSMA Intelligence. (2023a). *5G en América Latina - Liberando el potencial*. https://www.gsma.com/about-us/regions/latin-america/wp-content/uploads/2023/08/290623-5G-in-Latam-ESP.pdf

GSMA Intelligence. (2023b). *GSMA Intelligence*.

https://www.gsmaintelligence.com/research/research-file-download?reportId=52389&assetId=18920

Gupta, K. P. (2024). Understanding the challenges of 5G deployment in India. *Digital Policy, Regulation and Governance* , *26*(1), 1–17. https://doi.org/10.1108/DPRG-02-2023-0031

ITU. (2017). *Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)*. http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en

ITU. (2020). *Recommendation ITU-R M.2083-0 IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*. http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en

ITU. (2021). Measuring digital development - Facts and figures 2021. *ITUPublications*.

ITU. (2022). *Adición de una cuarta tecnología de interfaz radioeléctrica a las normas 5G*. https://www.itu.int/es/mediacentre/Pages/PR-2022-02-24-5G-Standards.aspx

ITUPublications. (2025). *State of digital development and trends in the Americas region: Challenges and opportunities*.

ITU-R. (2017). *Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)* . http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en

Laitsou Eleni, & Katsianis Dimitris. (2021). Comparative Techno-Economic Evaluation of 5G mobile network deployments in different scale urban areas. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/355360551_Comparative_Techno-Economic_Evaluation_of_5G_mobile_network_deployments_in_different_scale_urban_areas

Martinez, A. S. (2021). *Análisis del despliegue de comunicaciones de misión crítica sobre redes 4G y 5G* [Universidad del País Vasco]. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=291902&info=resumen&idioma=SPA

MINTEL. (2025). *Política Pública para la Transformación Digital del Ecuador 2025-2030*.

MINTIC. (2026). *Siete millones de personas ya navegan con tecnología 5G en Colombia*. https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sala-de-prensa/Noticias/428676:Siete-millones-de-personas-ya-navegan-con-tecnologia-5G-en-Colombia

Orteu Marcos, & Navarro Eugenia. (2024). Espectro 5G en América Latina. Desafíos y aprendizajes de las subastas de la banda 3.5 GHz. *Latam*. https://doi.org/10.53857/RLESD.04.2024.10

Panwar, N., Sharma, S., & Singh, A. K. (2015). *A Survey on 5G: The Next Generation of Mobile Communication* *. http://www.surrey.ac.uk/5gic/research

Rahman, A., Arabi, S., & Rab, R. (2021). Feasibility and Challenges of 5G Network

Deployment in Least Developed Countries (LDC). *Wireless Sensor Network*, *13*, 1–16. https://doi.org/10.4236/wsn.2021.131001

Suárez, L. (2025, December). *Ecuador renueva concesiones con operadores móviles*. Mobiletime. https://mobiletime.la/noticias/07/11/2025/ecuador-renueva-concesiones/

telefonica. (2026). *Movistar completa la primera fase de 5G*. https://www.telefonica.co/movistar-completa-la-primera-fase-de-5g-y-proyecta-1-185-nodos-para-este-2026/

Tirado, R., & Romero, J. (2022). *UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA-UNAD ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS, TECNOLOGIA E INGENIERIA-ECBTI*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD.

UIT. (2020). *Impacto en la productividad por el uso de tecnologías 5G en Ecuador*. https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2021/05/20210218_Impacto-de-5G-en-Industrias-Ecuador-Rev-F-1.pdf

United Nations. (2019). *United Nations Sustainable Development*. https://www.un.org/sustainabledevelopment/

Vamvakas, P., Tsiropoulou, E. E., & Papavassiliou, S. (2019). Dynamic Spectrum Management in 5G Wireless Networks: A Real-Life Modeling Approach. *Proceedings - IEEE INFOCOM*, *2019-April*, 2134–2142. https://doi.org/10.1109/INFOCOM.2019.8737443