

Prospectiva de las telecomunicaciones hacia redes 5G en la ciudad de Portoviejo

(Prospects for Telecommunications Toward 5G Networks in the City of Portoviejo)

Kevin Leonardo Moreira Arteaga, Gema Isabel Medranda Cobeña, Dannyll Michelle Zambrano Zambrano
Universidad Técnica de Manabí
kmoreira0138@utm.edu.ec | gema.medranda@utm.edu.ec | michellc.zambrano@utm.edu.ec

Resumen: La ausencia de infraestructura 5G en Portoviejo limita su competitividad regional y contradice los objetivos de conectividad universal del Estado ecuatoriano. Esta investigación diseñó una estrategia de despliegue progresivo de red 5G RAN mediante ingeniería aplicada en dos fases: una auditoría técnico-regulatoria basada en el catastro de ARCOTEL y ordenanzas municipales, seguida del diseño arquitectónico de transición desde NSA Option 3x hacia SA Option 2, conforme a estándares internacionales. Los resultados evidenciaron una brecha de cobertura del 31 % y la inexistencia de nodos 5G operativos, aunque los 448 eNodeB 4G existentes podrían reutilizarse como anclas NSA. Sin embargo, las normativas municipales vigentes generan ciclos de despliegue entre 2 y 4 veces más lentos que en países como Brasil y Colombia. El estudio propone una hoja de ruta a cinco años y una metodología replicable para los GAD municipales, ofreciendo un framework ejecutable para la modernización de la política pública local.

Palabras clave: 5G RAN, desarrollo urbano, brecha digital, política pública, arquitectura NSA/SA.

Abstract: The absence of 5G infrastructure in Portoviejo limits its regional competitiveness and contradicts the universal connectivity objectives of the Ecuadorian State. This research designed a progressive 5G RAN network deployment strategy through applied engineering in two phases: a technical-regulatory audit based on the ARCOTEL registry and municipal ordinances, followed by the architectural design of the transition from NSA Option 3x to SA Option 2, in accordance with international standards. The results showed a coverage gap of 31% and the lack of operational 5G nodes, although the 448 existing 4G eNodeBs could be reused as NSA anchors. However, current municipal regulations generate implementation cycles between 2 and 4 times slower than in countries such as Brazil and Colombia. The study proposes a five-year roadmap and a replicable methodology for municipal GADs, offering an executable framework for the modernization of local public policy.

Keywords: 5G RAN, urban development, digital divide, public policy, NSA/SA architecture.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las telecomunicaciones es fundamental en la era digital, ya que impulsa la conectividad universal, la innovación industrial y el desarrollo sostenible de las ciudades inteligentes. La tecnología 5G emerge como un factor transformador en el desarrollo urbano, habilitando servicios como hiperconectividad para Internet de las cosas (IoT) masiva, baja latencia para aplicaciones críticas (medicina remota, automatización industrial) y mayor capacidad para big data, alineándose con los ejes estratégicos de infraestructura digital y ciberseguridad de la Agenda de Transformación Digital 2022-2025 del MINTEL en Ecuador.

La quinta generación de redes móviles (5G RAN (Radio Access Network)) ha trascendido su rol como un exclusivo canal de comunicación para convertirse en la plataforma habilitadora de la Cuarta Revolución Industrial. Al desagregar funcionalidades entre unidades de radio y distribuidas bajo arquitecturas abiertas (O-RAN), el 5G RAN permite servicios críticos como la Banda Ancha Móvil Mejorada (eMBB) y las Comunicaciones Ultra Confiables de Baja Latencia (uRLLC) [1], [2].

Sin embargo, la transición hacia estos ecosistemas presenta desafíos arquitectónicos significativos: mientras que el modelo No Autónomo (NSA) facilita un despliegue rápido apoyándose en núcleos 4G, solo la Arquitectura Autónoma (SA) desbloquea el verdadero potencial para el desarrollo de Ciudades Inteligentes (Smart Cities) y el Internet de las Cosas masivo (mMTC) [3], [4].

Esta dualidad arquitectónica es crítica para ciudades intermedias en economías en desarrollo, donde la brecha digital amenaza con estancar la competitividad regional. El caso de estudio de esta investigación es Portoviejo, capital de la provincia de Manabí, Ecuador, por ser la capital de la tercera provincia con más población del país.

A pesar de su dinamismo económico, la ciudad carece de infraestructura 5G, una limitación estructural ratificada por los informes de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) [5]. Esta carencia no solo impide la gestión avanzada de servicios críticos como la respuesta ante desastres sísmicos mediante telepresencia y computación perimetral [6] sino que contradice los objetivos de conectividad universal del Estado. En Ecuador, la Ley Orgánica para la Transformación Digital y Audiovisual establece como prioridad nacional el fomento de la inversión en infraestructura y la simplificación regulatoria para cerrar la brecha tecnológica [7].

La Agenda de Transformación Digital 2022-2025, impulsada por el MINTEL, establece siete ejes estratégicos, que se ilustran en la figura 1, abarcando desde la infraestructura digital hasta la ciberseguridad, los cuales exigen a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) a modernizar sus redes [8], [9]. Sin embargo, existe una desconexión crítica: aunque el Plan Nacional de Telecomunicaciones exige adoptar nuevas tecnologías [10], Portoviejo carece de una hoja de ruta técnica que articule estos mandatos legales con un plan de migración viable.



Figura 1. Ejes estratégicos de MINTEL.

La viabilidad técnica de esta propuesta se sustenta en el cumplimiento riguroso de los estándares internacionales de interoperabilidad y evolución de red. Específicamente, el modelo de transición adopta las especificaciones del 3GPP Release 15, que estandariza la evolución desde la arquitectura Option 3 (NSA) hacia la Option 2 (SA) [11].

Asimismo, los indicadores de desempeño proyectados se alinean con la recomendación ITU-R M.2083 para redes IMT-2020 [12], asegurando que la infraestructura desplegada cumpla con

los estándares globales de calidad de servicio requeridos para aplicaciones de misión crítica y se ejecute bajo las guías de migración de la GSMA [13].

El objetivo de este estudio es diseñar una estrategia de despliegue progresivo de la red 5G RAN para Portoviejo, que cumpla tanto con los requisitos técnicos de O-RAN como con el marco jurídico nacional. Se propone un modelo escalonado que inicie con arquitectura NSA para la provisión inmediata de eMBB, evolucionando hacia un núcleo SA que soporte la gobernanza digital exigida por la agenda nacional [14].

La contribución principal de este artículo es demostrar un despliegue planificado de 5G RAN en Portoviejo aprovechando sus 448 eNodeB 4G existentes (ARCOTEL). Este enfoque cierra la brecha de cobertura del 31 % y se alinea con los lineamientos de MINTEL sobre espectro en la banda de 3,5 GHz y la transición 5G. En particular, la arquitectura NSA-SA constituye el mecanismo indispensable para cumplir con la Agenda 2030, al garantizar resiliencia operativa y el derecho constitucional urbano a las TIC [15].

2. TRABAJOS RELACIONADOS

La literatura académica reciente coincide en que la transición hacia 5G no es simplemente una mejora incremental de velocidad, sino un rediseño arquitectónico orientado a soportar la masividad del IoT y servicios críticos mediante tecnologías habilitadoras como ondas milimétricas (mmWave), SDN y NFV [3], [16].

Autores como [17] destacan que esta convergencia tecnológica permite gestionar requisitos heterogéneos, desde entretenimiento hasta control industrial. Asimismo, la dimensión de sostenibilidad ha cobrado protagonismo; [18] revela que el 42 % de las investigaciones actuales priorizan el impacto ambiental y la eficiencia energética sobre los aspectos puramente económicos, estableciendo un nuevo estándar para los despliegues modernos.

En el contexto ecuatoriano, el despliegue se encuentra en una etapa incipiente, pero normada. Mientras que ARCOTEL ha iniciado la planificación del espectro, la información pública sobre la cobertura real sigue siendo limitada [5]. No obstante, el marco regulatorio se ha fortalecido con la Agenda de Transformación Digital del MINTEL [19], la cual legitima los proyectos de modernización en ciudades intermedias al establecer la inclusión digital y el cierre de la brecha territorial como objetivos de Estado, proporcionando el respaldo jurídico necesario para iniciativas locales.

Al analizar los estudios de implementación en ciudades ecuatorianas, se evidencian enfoques metodológicos diversos. Por un lado, investigaciones en Guayaquil [20] se han centrado en la percepción social y la adopción multisectorial, concluyendo que el éxito de 5G depende tanto de la infraestructura como de la sensibilización ciudadana.

Por otro lado, estudios en Quito [21] y Lomas de Sargentillo [22] han adoptado un enfoque estrictamente ingenieril, validando mediante simulaciones (Atoll, WinProp) la viabilidad técnica de arquitecturas NSA y el uso de beamforming para mejorar la QoS en entornos urbanos y rurales respectivamente [23]. Sin embargo, estos antecedentes presentan limitaciones al aplicarse a ciudades con características históricas como Portoviejo.

Como advierte [21] en su análisis sobre Quito, el despliegue en zonas patrimoniales exige soluciones discretas que equilibren la modernización con la preservación estética, un desafío que los modelos puramente técnicos a menudo pasan por alto. La presente investigación busca llenar este vacío, integrando la planificación técnica rigurosa [21] con el cumplimiento normativo [24] y las consideraciones urbanas específicas para una ciudad intermedia en desarrollo.

3. METODOLOGÍA

La investigación se estructura bajo un diseño de ingeniería aplicada, centrada en la planificación de redes de nueva generación. El estudio operacionaliza variables técnicas y regulatorias para modelar una estrategia de migración tecnológica 5G en escenarios de infraestructura limitada.

Procedimiento

La ejecución del estudio se sistematizó en dos fases operativas, cada una regida por un marco normativo específico para garantizar la replicabilidad y validez del modelo propuesto para la ciudad de Portoviejo en la provincia de Manabí.

Fase I: Auditoría técnica y regulatoria

Se estableció la brecha digital contrastando la infraestructura instalada (nodos eNodeB del catastro ARCOTEL) frente a las metas de la Agenda MINTEL 2022-2025. Asimismo, se evaluó el cumplimiento de cobertura en zonas urbanas y rurales, y se analizaron las ordenanzas municipales para identificar barreras normativas al despliegue y densificación 5G.

Fase II: Diseño de arquitectura de transición

Se modeló la hoja de ruta técnica alineada con los estándares 3GPP Release 15 e ITU-R M.2083. Se definió un escenario inicial NSA Option 3x que utiliza 4G (1900/2100 MHz) como ancla y 5G NR (3,5 GHz) para optimizar el CAPEX, proyectando la migración hacia una arquitectura SA que garantice latencias inferiores a 10 ms y densidad masiva para IoT. Esto valida previamente la disponibilidad de bloques contiguos en la banda C (3,3-3,6 GHz), conforme al CNAF.

Materiales y marco de referencia

El diseño de la propuesta se fundamentó en:

- **Estándares de ingeniería:** Se adoptaron las especificaciones del 3GPP Release 15 [11] para la definición de interfaces de red y la recomendación ITU-R M.2083 para el establecimiento de KPIs objetivo, como tasa de datos pico y latencia en el plano de usuario.
- **Instrumentos regulatorios:** Se procesaron como insumos mandatorios la Ley Orgánica de Transformación Digital y la Agenda MINTEL 2022-2025 [19], alineando la arquitectura propuesta con los ejes de infraestructura digital y ciberseguridad nacional.
- **Recolección de datos:** La validación del escenario base se sustentó en la extracción y procesamiento de datos de tres fuentes primarias:
 - ✓ **Repositorios oficiales:** Se extrajo información de asignación de espectro y catastro de radiobases del Oficio Nro. ARCOTEL-CCON-2025-0875-OF, el Plan de Servicio Universal, la Agenda MINTEL 2022-2025 [19], páginas oficiales del gobierno ecuatoriano, la Ley Orgánica de Transformación Digital [7], y normativas internacionales como 3GPP Release 15 [11] e ITU-R M.2083 [12].
 - ✓ **Métricas de crowdsourcing (QoE):** Se analizaron reportes de Calidad de Experiencia (QoE) y mapas de calor de cobertura mediante la plataforma nPerf, permitiendo georreferenciar zonas de sombra y validar la inexistencia de portadoras 5G activas en la provincia de Manabí.
 - ✓ **Bases de datos especializadas:** Se ejecutó una revisión sistemática de artículos para identificar topologías de red validadas en ciudades intermedias con características orográficas similares a la zona de estudio.

4. RESULTADOS

La investigación permitió generar hallazgos estructurados en tres dominios complementarios: el diagnóstico de la infraestructura existente, la identificación de barreras regulatorias municipales, y el diseño de la arquitectura de transición hacia 5G RAN.

4.1. Auditoría de infraestructura actual

El levantamiento de línea base mediante el catastro oficial de ARCOTEL observado en la Tabla 1 evidenció la distribución tecnológica de las radiobases desplegadas en la provincia de Manabí. Según las estadísticas a noviembre de 2024 detalladas en la Tabla 1 la región cuenta con 595 estaciones 2G (GSM), 854 estaciones 3G (UMTS) y 448 estaciones 4G (LTE), con cero radiobases 5G NR operativas.

Tabla 1. Distribución de radiobases por operador y tecnología en Manabí (noviembre 2024).

Operador	GSM 850	UMTS 1900	LTE 700	LTE AWS	Total 4G	5G NR
CONECEL (Claro)	196	264	4	190	194	0
OTECCEL (Movistar)	194	283	149	0	149	0
CNT EP	205	307	105	0	105	0
Total provincial	595	854	258	190	448	0

Fuente: Catastro ARCOTEL, Oficio Nro. ARCOTEL-CCON-2025-0875-OF [25].

La validación mediante la plataforma de crowdsourcing nPerf confirmó la inexistencia de portadoras 5G activas en Portoviejo, registrándose únicamente cobertura 2G, 3G y 4G por parte de los tres operadores del Servicio Móvil Avanzado.

4.2. Análisis de cumplimiento regulatorio

La Figura 2 muestra el contraste entre la cobertura actual y las metas del Plan de Servicio Universal 2022-2025, lo que revela brechas significativas que afectan directamente al cantón Portoviejo.

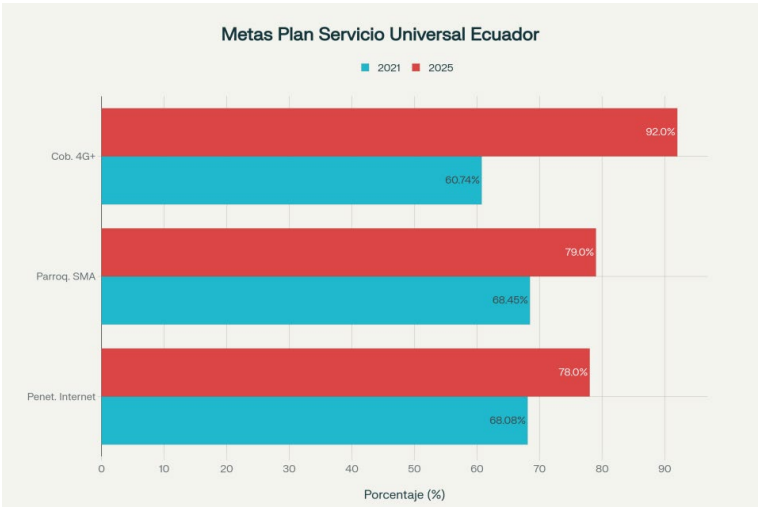


Figura 2. Metas del plan de servicio universal Ecuador 2022-2025: Línea base vs meta proyectada. Fuente: MINTEL [10].

Tabla 1. Indicadores del plan de servicio universal Ecuador 2022-2025.

Indicador	Línea Base 2021	Meta 2025	Brecha
Cobertura poblacional 4G o superior	60,74 %	92,00 %	+31,26 pp
Parroquias rurales con SMA	68,45 %	79,00 %	+10,55 pp
Penetración Internet móvil y fijo	68,08 %	78,00 %	+9,92 pp

Fuente: Plan de servicio universal MINTEL 2022-2025 [10].

El Plan Nacional de Telecomunicaciones 2024-2025, mostrado en la Tabla 2, establece como meta específica "incrementar el porcentaje de cobertura poblacional con tecnología 4G de 78,08 % en el año 2022 a 80,00 % al 2025", evidenciando que la transición hacia 5G aún no forma parte de los indicadores oficiales de cumplimiento estatal.

4.3. Barreras de despliegue identificadas

El análisis de las ordenanzas municipales vigentes del GAD Portoviejo identificó las restricciones críticas para la densificación requerida por las redes 5G RAN. Estas se detallan en la Tabla 3.

Tabla 2. Restricciones municipales de Portoviejo para infraestructura de telecomunicaciones.

Restricción	Normativa	Impacto en densificación 5G
Zonas prohibidas	Art. 6, Ordenanza Espacio Público	Monumentos históricos, áreas patrimoniales, SNAP, márgenes del río (50 m)
Altura máxima urbana	Art. 7, literal a)	60 metros desde nivel de acera
Altura máxima rural	Art. 7, literal b)	80 metros desde nivel de suelo
Permiso implantación	Art. 12-15	Vigencia anual renovable
Mimetización obligatoria	Art. 6, 9	Integración visual al entorno
Seguro responsabilidad civil	Art. 11	50 SBU por estación
Soterramiento preferente	Plan Nacional MINTEL	12,35 km programados 2024

Fuente: Consejo Municipal del GAD Portoviejo [27]

Las tasas municipales por ocupación del espacio público representan un factor de costo operativo significativo: USD 0,02 por metro lineal diario para cables aéreos y USD 0,008 para cables soterrados, además de un 10 % del SBU diario por cada antena celular. La Figura 3 muestra una red 5G densificada que requiere extensos tendidos de fibra óptica fronthaul, lo que genera una acumulación sustancial de estos costos.

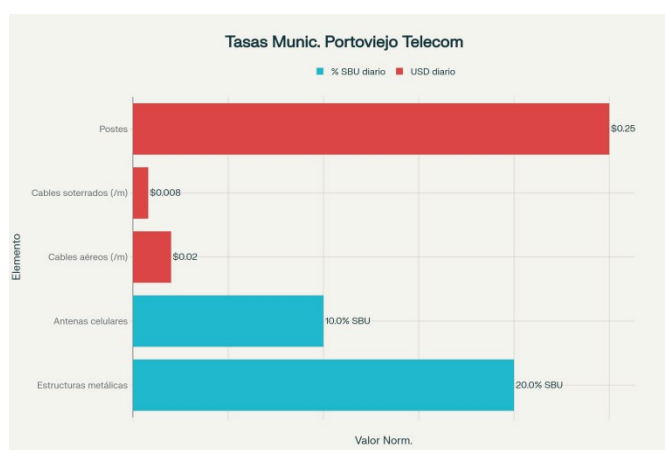


Figura 3. Tasas municipales de Portoviejo para ocupación de espacio público con infraestructura de telecomunicaciones.

4.4. Validación de espectro radioeléctrico

La verificación del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) confirmó en la Tabla 4 la disponibilidad del espectro requerido para el despliegue 5G NR (New Radio).

Tabla 3. Bandas de frecuencia para despliegue 5G en Ecuador.

Banda	Rango (MHz)	Estado actual	Rol en arquitectura 5G
700 MHz (APT)	703-803	LTE activo	Cobertura rural, reutilizable 5G NR
1900 MHz (PCS)	1850-1990	UMTS/LTE	Banda ancla NSA Option 3x
AWS (2100)	1710-2155	LTE	Banda ancla NSA Option 3x
Banda C (3,5 GHz)	3300-3600	FWA (CNT: 50 MHz)	Banda primaria 5G NR
mmWave (26 GHz)	24250-27500	Sin asignación	Hotspots urbanos (futuro)

Fuente: CNAF Ecuador, Resoluciones ARCOTEL 2021-2025 [28]

CNT EP dispone de 50 MHz de espectro radioeléctrico asignado a nivel nacional en la banda de 3,4 – 3,6 GHz, inicialmente destinada a servicios de acceso inalámbrico fijo (FWA). Actualmente, la empresa ha tramitado ante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL) la solicitud de cambio de uso de dichas frecuencias para su operación comercial en tecnología 5G. En este contexto, ARCOTEL aprobó en diciembre de 2024 las bases del proceso público competitivo para la asignación de espectro 5G mediante la Resolución ARCOTEL-2024-299, estableciendo así el marco habilitante para el despliegue nacional de esta tecnología.

La brecha tecnológica en la provincia de Manabí responde a factores económicos, técnicos y regulatorios de alcance local. Económicamente, Guayas y Pichincha concentran el 61 % de las conexiones del país, orientando las inversiones de las operadoras hacia estas provincias, donde se registra mayor densidad de usuarios.

Quito (180 sitios 5G, 65 % de cobertura) y Guayaquil (142 sitios, 58 %) lideran desde octubre de 2025 con CNT y Claro, mientras Portoviejo mantiene 0 % de cobertura pese a contar con 448 eNodeB 4G reutilizables y USD 584 millones invertidos a nivel nacional. La brecha no es técnica (la infraestructura está lista) ni económica (las inversiones están confirmadas), sino puramente centralista: el MINTEL prioriza las capitales y las ordenanzas municipales de 2015 duplican los tiempos de despliegue en comparación con las ciudades principales.

El componente regulatorio constituye un factor estructural en este escenario. Mientras ciudades como Quito actualizaron su normativa sobre soterramiento y despliegue de infraestructura en 2022, Portoviejo mantiene ordenanzas vigentes desde 2015 que establecen tasas equivalentes al 10 % del Salario Básico Unificado diario por antena.

Este marco normativo incrementa significativamente los costos de implementación, especialmente para redes 5G, cuyo diseño requiere una mayor densidad de antenas de menor tamaño (small cells). En consecuencia, el rezago tecnológico del cantón se vincula principalmente a condiciones de gobernanza local y a limitaciones asociadas a la economía de escala.

4.5. Diseño de arquitectura de transición

Con base en los resultados de la auditoría, la Figura 4 muestra el diseño de la arquitectura de migración siguiendo las especificaciones 3GPP Release 15 [11].

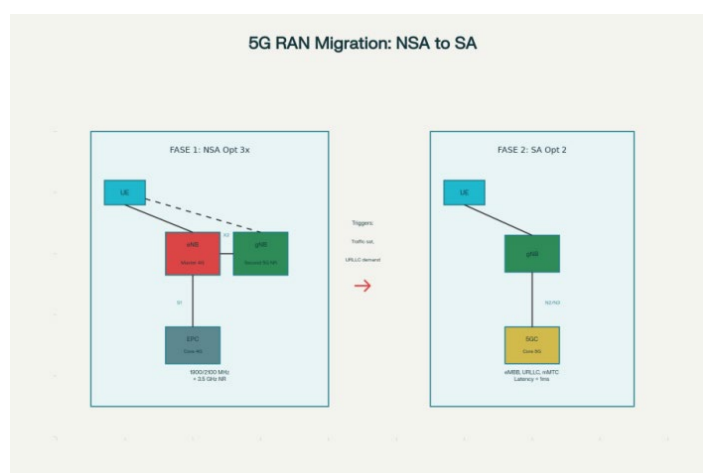


Figura 4. Arquitectura de transición 5G RAN: de NSA (Option 3x) a SA (Option 2) según 3GPP Release 15 [11].

Arquitectura NSA option 3x (fase inicial)

La selección de option 3x se fundamenta en sus ventajas operativas para contextos con infraestructura 4G existente, en la Tabla 5 se explica parámetros claves entre las 2 tecnologías:

- El eNB (4G) actúa como Master Node (MN), manteniendo el plano de control conectado al EPC.
- El gNB (5G NR) actúa como Secondary Node (SN), conectado via interfaz X2.
- Los datos del usuario fluyen directamente desde el EPC hacia el gNB, evitando sobrecarga en el eNB.
- Las bandas 1900 MHz y AWS (2100 MHz) funcionan como anclas de control.
- La banda 3,5 GHz soporta las portadoras 5G NR para servicios eMBB.

Tabla 4. Comparativas arquitecturas 5G: NSA Option 3x vs SA Option 2.

Parámetro	NSA Option 3x	SA Option 2
Estándar 3GPP	Release 15	Release 15/16
Core Network	EPC (4G)	5GC (5G)
Nodo Maestro	eNB (4G)	gNB (5G)
Interfaz RAN	X2	N2/N3, Xn
Latencia mínima	~10-15 ms	<1 ms (URLLC)
Network Slicing	Limitado	Completo
Casos de uso	eMBB	eMBB, URLLC, mMTC
CAPEX inicial	Bajo	Alto
Tiempo despliegue	6-12 meses	18-24 meses

Fuente: Especificaciones 3GPP TR 38.912, GSMA Implementation Guidelines [11]

KPIs objetivo según ITU-R M.2083

La arquitectura propuesta debe alcanzar los siguientes indicadores detallados en la Tabla 6 correspondientes al desempeño establecidos por la UIT para redes IMT-2020.

Tabla 5. Requisitos de desempeño IMT-2020 para 5G.

Parámetro	Requisito	Escenario
Tasa de datos pico (DL)	20 Gbps	eMBB
Tasa de datos pico (UL)	10 Gbps	eMBB
Latencia plano de usuario	4 ms (eMBB), 1 ms (URLLC)	Todos
Densidad de conexión	10 ⁶ dispositivos/km ²	mMTC
Eficiencia espectral pico	30 bps/Hz (DL)	eMBB
Fiabilidad	99,999% (1-10 ⁻⁵)	URLLC
Densidad de tráfico	10 Mbps/m ²	eMBB

Fuente: Recomendación UIT-R M.2083-0 [12].

4.6. Hoja de ruta propuesta

El modelo de transición se muestra en la Figura 5 y se estructura en tres fases secuenciales, con disparadores de migración basados en métricas de saturación de tráfico.

Roadmap 5G RAN Portoviejo

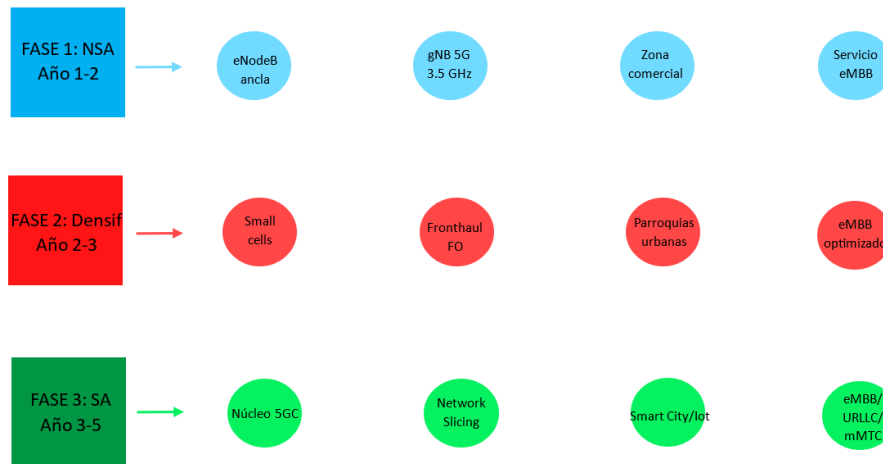


Figura 5. Hoja de ruta propuesta para el despliegue progresivo de 5G RAN en Portoviejo (2025-2030).

Tabla 6. Cronograma de implementación 5G RAN Portoviejo.

Fase	Período	Arquitectura	Actividades clave	Servicios
1	Año 1-2	NSA Option 3x	Identificación eNodeB ancla (bandas 1900/AWS), instalación gNB 3,5 GHz, cobertura zona comercial y administrativa	eMBB
2	Año 2-3	NSA densificada	Despliegue small cells, extensión fronthaul FO (12,35 km soterrados), parroquias urbanas	eMBB optimizado
3	Año 3-5	SA Option 2	Implementación núcleo 5GC, migración eNB→ng-eNB, habilitación Network Slicing	eMBB, URLLC, mMTC

El cronograma de la Tabla 7 detalla una evolución de 5 años en Portoviejo, transitando de una arquitectura híbrida (NSA) inicial hacia una red 5G autónoma (SA) con núcleo propio. Esta modernización final habilita servicios críticos y masivos (URLLC y mMTC) mediante la implementación de Network Slicing y la expansión de fibra óptica.

Triggers de migración NSA→SA:

- Saturación de tráfico >80 % en celdas ancla.
- Demanda de servicios URLLC (telemedicina, automatización industrial).
- Despliegue de aplicaciones Smart City por el GAD Portoviejo.
- Disponibilidad de espectro adicional en banda C post-proceso competitivo ARCOTEL.

4.7. Selección de nodos candidatos

Para la fase 1, se identificaron como candidatos prioritarios los eNodeB 4G ubicados en las siguientes zonas de Portoviejo, considerando densidad poblacional, demanda de tráfico y factibilidad de acceso para instalación de equipos gNB:

Tabla 7. Criterios de selección para nodos ancla NSA.

Criterio	Ponderación	Justificación
Cobertura LTE existente	25 %	Estabilidad del enlace de control
Densidad poblacional	20 %	Maximizar usuarios beneficiados
Proximidad a fibra óptica	20 %	Viabilidad de fronthaul
Ausencia de restricciones municipales	15 %	Factibilidad regulatoria
Capacidad de infraestructura civil	10 %	Espacio para equipos gNB
Alimentación eléctrica	10 %	Capacidad para nuevos equipos

Tabla 8. Evaluación técnica de fibra óptica para 5G.

Parámetros críticos	Infraestructura actual	Requisito 5G (3GPP/ITU)	Cumplimiento	Acción correctiva	CAPEX estimado
Capacidad eCPRI	GPON 2,5-10 Gbps (CNT 82 %)	10-25 Gbps divididos 7,2	65 %	Actualización DWDM 100G	USD 450 mil
Fronthaul de latencia	45-200 μ s (1-18 km nPerf)	$\leq 100 \mu$ s E2E	Parcial	FO dedicada <10 km	USD 800 mil
Jitter máximo	25-150 μ s	URLLC de $\leq 20 \mu$ s	No cumple	IEEE 1588v2 PTP	USD 250 mil
Distancia óptima	5-18 km un eNodeB	≤ 10 km (HARQ)	Superar el 40 %	+22 km FO prioritaria	1,2 millones de dólares
Sincronización	SyncE básica	PTP de 130 ns (FR2)	No cumple	Gran maestro GNSS+PTP	USD 180.000
Cobertura de células pequeñas	12,35 km subterráneos (2024)	35 km requeridos urbano	35%	Densidad 22 km Plan Nacional	USD 950 mil
Costo municipal	USD 0,008/m subterráneo	---	Alto	Negociar exención de celdas pequeñas	---

Fuente: Plan Nacional de Soterramiento y Ordenamiento 2024 [26]

La aplicación de los criterios de la Tabla 8 permitirá priorizar los sitios óptimos para el despliegue inicial, maximizando el retorno de inversión y minimizando los tiempos de implementación conforme a las guías de la GSMA para despliegues NSA.

4.8. Evaluación de infraestructura de fibra para latencia 5G

CNT EP reporta cobertura GPON al 82 % de hogares en Portoviejo (2024), con velocidades simétricas hasta 2,4 Gbps/1,2 Gbps y latencia típica de 45-85 μ s en enlaces <8 km. CELEC EP ensamblado 124 km OPGW (fibra óptica embebida en cables de alta tensión) en el corredor Quevedo-Daule-Peripa-Portoviejo (2023), disponible para backhaul. Sin embargo, el Plan Nacional de Soterramiento asigna solo 12,35 km para densificación urbana en 2024-2025, insuficiente para los ~35 km requeridos por el fronthaul 5G [26]. Evaluación técnica de fibra óptica de parámetros detallados en la Tabla 9.

4.9. Requisitos de fronthaul para la densificación 5G

La densificación requerida por las redes 5G RAN impone requisitos significativamente más exigentes sobre la infraestructura de transporte fronthaul. El análisis técnico reveló los siguientes parámetros críticos detallados en la Tabla 10 para el despliegue en Portoviejo.

Tabla 10. Requisitos de fronthaul por tecnología de acceso.

Parámetro	LTE (4G)	5G NR (3,5 GHz)	5G NR mmWave	Observación
Capacidad fronthaul/celda	2,5-10 Gbps	10-25 Gbps	25-100 Gbps	eCPRI reduce ~10× vs CPRI
Latencia máxima fronthaul	150-200 μ s	100 μ s	75 μ s	Crítico para HARQ/CoMP
Distancia máxima fibra	15-20 km	10-15 km	5-10 km	Limitada por latencia
Protocolo recomendado	CPRI	eCPRI	eCPRI	Split 7,2 recomendado
Sincronización	$\pm 1,5$ μ s	± 130 ns	± 65 ns	IEEE 1588 PTP

Fuente: Análisis basado en estándares 3GPP y literatura técnica [11].

La Figura 6 muestra la evolución del protocolo CPRI hacia eCPRI (enhanced CPRI) que representa un factor habilitante crítico para la densificación 5G. Mediante la implementación de split funcional 7,2, eCPRI reduce los requisitos de capacidad del fronthaul hasta en un orden de magnitud, permitiendo reutilizar infraestructura de fibra óptica existente para el despliegue de antenas MIMO masivo.

El Plan Nacional de Soterramiento establece para Portoviejo una meta de 12,35 km de redes soterradas para 2024, infraestructura que puede ser aprovechada para el tendido de fibra óptica fronthaul. Sin embargo, la ordenanza municipal establece tasas de USD 0,008/metro lineal diario para cables soterrados, lo que representa un costo operativo a considerar en el dimensionamiento financiero.

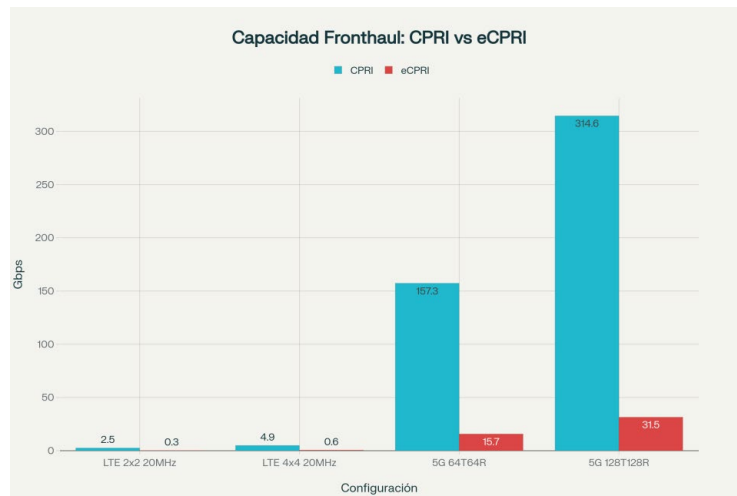


Figura 6. Comparativa de requisitos de capacidad fronthaul: CPRI tradicional vs eCPRI con split funcional 7,2

4.10. Dimensionamiento de capacidad por banda de frecuencia

El cálculo del dimensionamiento de capacidad en la Tabla 11 siguió la metodología de planificación 5G basada en link budget y modelos de propagación 3GPP [11].

Tabla 11. Dimensionamiento de capacidad para despliegue 5G en Portoviejo.

Parámetro	Banda n78 (3,5 GHz)	Banda n257 (28 GHz)	Unidad
Ancho de banda disponible	100 MHz	400 MHz	MHz
Eficiencia espectral DL	7,8	7,2	bps/Hz
Throughput teórico DL/celda	2,38	8,62	Gbps
Throughput teórico UL/celda	0.87	4,03	Gbps
Radio de cobertura estimado	~600	~150	m
Área de cobertura por sitio	1,13	0,07	km ²
Factor de densificación	1×	16×	-

Fuente: Cálculos basados en metodología de Farré Guijarro (2024) [18].

Los resultados evidencian que la banda n257 (28 GHz) requiere una densificación 16 veces mayor que la banda n78 (3,5 GHz) para cubrir la misma área geográfica. Esta diferencia justifica la estrategia de despliegue en fases, priorizando la cobertura inicial con 3,5 GHz y reservando mmWave para hotspots de alta demanda.

4.11. Algoritmo de selección de nodos ancla

Para la identificación sistemática de los eNodeB candidatos a servir como anclas en la arquitectura NSA Option 3x, en la Figura 7 se muestra el algoritmo de selección multicriterio:

```

# ALGORITMO 1: Selección de Nodos Ancla para Arquitectura NSA Option 3x

Entrada: Catastro_eNodeB[], Restricciones_Municipales[], Demanda_Tráfico[]
Salida: Nodos_Candidatos[]

INICIO
1. PARA cada eNodeB en Catastro_eNodeB:
  1.1 Verificar tecnología = LTE (4G)
  1.2 Verificar bandas ∈ {1900 MHz, AWS}
  1.3 Calcular puntuación_cobertura = población_cubierta / área_celda

2. PARA cada eNodeB candidato:
  2.1 Verificar ubicación ∉ Restricciones_Municipales.zonas_prohibidas
  2.2 Calcular distancia_fronthaul = distancia(eNodeB, nodo_fibra)
  2.3 SI distancia_fronthaul > 10 km ENTONCES descartar

3. PARA cada eNodeB válido:
  3.1 Calcular factor_demanda = tráfico_actual / capacidad_disponible
  3.2 Evaluar factor_infraestructura = {espacio, alimentación}

4. Calcular puntuación_final =
  0.25 x puntuación_cobertura +
  0.20 x densidad_poblacional +
  0.20 x proximidad_fibra +
  0.15 x factibilidad_regulatoria +
  0.10 x capacidad_infraestructura +
  0.10 x alimentación_eléctrica

5. Ordenar por puntuación_final DESC
6. RETORNAR top_N(Nodos_Candidatos)
FIN

```

Figura 7. Algoritmo 1-Selección de nodos ancla para arquitectura NSA Option 3x.

Este algoritmo pondera factores técnicos, regulatorios y de infraestructura para optimizar la selección de sitios, considerando específicamente las restricciones de las ordenanzas municipales de Portoviejo identificadas en la fase I de la auditoría.

4.12. Proceso de despliegue completo hacia 5G RAN

El diagrama de flujo integral del proceso de despliegue de la Figura 8 abarca desde la preparación inicial hasta la migración completa a arquitectura Standalone, las funcionalidades de la arquitectura se mencionan en la Tabla 12.

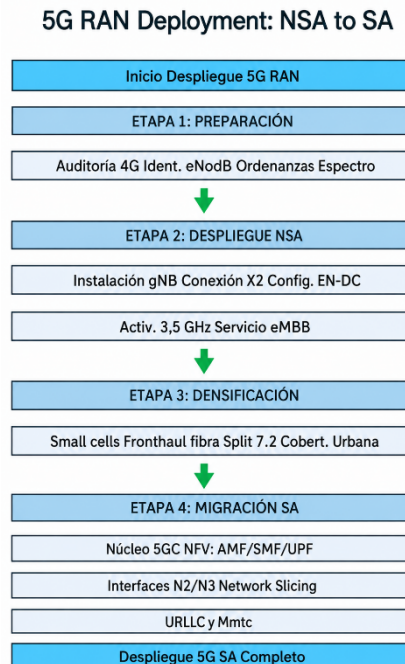


Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de despliegue completo 5G RAN: desde arquitectura NSA hasta SA.

Tabla 9. Funcionalidades habilitadas por arquitectura.

Funcionalidad	NSA (Option 3x)	SA (Option 2)	Impacto para Portoviejo
Network Slicing	Limitado	Completo	Servicios diferenciados por vertical
Edge Computing (MEC)	Parcial	Nativo	Smart City municipal
URLLC (<1 ms)	No disponible	Disponible	Telemedicina, automatización
mMTC (10 ⁶ disp/km ²)	Limitado	Completo	IoT masivo agroindustria
Voice over NR	No (usa VoLTE)	Nativo	Calidad de voz mejorada
Handover intra-5G	Via 4G	Directo	Menor latencia en movilidad

Fuente: Especificaciones 3GPP Release 15/16, análisis Telefónica [11].

4.13. Detalle de fase de densificación

La densificación mediante small cells es el componente crítico para alcanzar los objetivos de capacidad 5G en áreas urbanas densas. Las características técnicas de este despliegue son:

Especificaciones de small cells 5G:

- Potencia de transmisión: 1-5 W (vs. 40-60 W macro celdas)
- Radio de cobertura: 50-200 m
- Separación típica: 100-200 m en zonas de alta demanda
- Ubicación: Mobiliario urbano, postes de alumbrado, fachadas de edificios
- Interfaz fronthaul: eCPRI sobre fibra óptica os enlaces mmWave

Consideraciones municipales para small cells en Portoviejo:

La ordenanza municipal establece que las estructuras deben integrarse al entorno mediante mimetización obligatoria, lo que incrementa el costo de despliegue, pero facilita la aceptación social. La Tabla 13 muestra los planes para 5G que estiman hasta 60 small cells por cada 2,5 km² en zonas urbanas densas.

Tabla 103. Requisitos de fronthaul para small cells.

Tipo de Small Cell	Capacidad Fronthaul	Latencia Máxima	Medio Recomendado
Femtocelda indoor	1-2,5 Gbps	250 μs	Fibra/Ethernet
Picocelda outdoor	2,5-10 Gbps	150 μs	Fibra GPON
Microcelda urbana	10-25 Gbps	100 μs	Fibra dedicada

Fuente: small cell forum, análisis de fronthaul 5G [7].

4.14. Migración hacia arquitectura standalone (SA)

La transición de NSA a SA representa el paso final hacia la habilitación completa de las capacidades 5G. Esta migración se ejecutará cuando se cumplan los siguientes triggers:

Triggers de migración NSA→SA:

- Saturación de tráfico >80 % en celdas ancla 4G.
- Demanda confirmada de servicios URLLC (telemedicina, automatización).
- Disponibilidad de espectro adicional post-proceso competitivo ARCOTEL.
- Madurez de ecosistema de dispositivos 5G SA en el mercado ecuatoriano.

Componentes del núcleo 5GC:

La arquitectura SA requiere la implementación de un núcleo de red 5G nativo detallado en la Tabla 14 basado en principios cloud-native, NFV y SDN:

Tabla 14. Componentes del núcleo 5G RAN.

Función de Red	Descripción	Rol en 5GC
AMF	Access and Mobility Management Function	Gestión de movilidad y acceso
SMF	Session Management Function	Control de sesiones de datos
UPF	User Plane Function	Procesamiento del plano de usuario
AUSF	Authentication Server Function	Autenticación de usuarios
UDM	Unified Data Management	Gestión de datos de suscriptor
NSSF	Network Slice Selection Function	Selección de Network Slices

Fuente: Arquitectura de referencia 3GPP, Telefónica [11].

4.15. Indicadores de éxito del despliegue

Tabla 15. KPIs objetivo para cada fase de implementación.

KPI	Fase 1 (NSA)	Fase2 (Densificación)	Fase 3 (SA)	Meta IMT- 2020
Throughput DL usuario	100-500 Mbps	500 Mbps-1 Gbps	>1 Gbps	100 Mbps
Throughput UL usuario	50-100 Mbps	100-500 Mbps	>500 Mbps	50 Mbps
Latencia E2E	15-20 ms	10-15 ms	<10 ms	4 ms (eMBB)
Latencia URLLC	N/A	N/A	<1 ms	1 ms
Cobertura poblacional 5G	30 %	60 %	>90 %	-
Densidad de conexión	10 ⁴ /km ²	10 ⁵ /km ²	10 ⁶ /km ²	10 ⁶ /km ²

Fuente: Arquitectura de referencia 3GPP, Telefónica [11].

La consecución de estos indicadores detallados en la Tabla 15 permitirá validar el cumplimiento de los requisitos IMT-2020 establecidos por la UIT-R para redes de quinta generación.

5. DISCUSIÓN

Portoviejo exhibe una ausencia total de infraestructura 5G NR contrastada con 448 estaciones 4G LTE operativas en Manabí. Más significativa aún es la persistencia de 854 radiobases 3G, que supera a las 4G, revelando una transición tecnológica incompleta que caracteriza a países latinoamericanos en etapa pre-5G.

Esta situación responde a dos causas estructurales: primero, Ecuador aún no ha asignado espectro comercial 5G (a diferencia de Brasil, que implementó 5G SA operativo desde julio 2022, y Colombia, que desplegó NSA desde 2016); segundo, la brecha del Plan de Servicio Universal 2022-2025 (31,26 puntos porcentuales: 60,74 % cobertura 4G+ actual hacia 92 % meta 2025) exige acelerar despliegues, limitados por restricciones municipales.

El diagnóstico revela que la limitación principal no radica en la infraestructura los 448 eNodeB 4G ya existen y son perfectamente reutilizables como anclas NSA para 5G, sino en barreras regulatorias a dos niveles: el nacional, relacionado con la asignación de espectro, y el municipal, derivado de ordenanzas restrictivas locales.

Las ordenanzas municipales de Portoviejo establecen un marco restrictivo que diverge significativamente de marcos comparables latinoamericanos. Portoviejo impone: permiso anual renovable, 7 categorías de zonas prohibidas, tasas de 10-20% SBU diario, y mimetización obligatoria de estructuras. Este esquema es notable porque no diferencia entre macro celdas (40-60W) y small cells (1-5W), aplicando requisitos uniformes que penalizan la densificación requerida por 5G RAN.

En contraste: Brasil, mediante Ley 13,116/2015, implementa silencio administrativo positivo a 60 días, eliminando poder discrecional municipal para rechazar solicitudes de antenas. Colombia, mediante Resolución ANE 387/2016, emite regulación diferenciada que exime picoceldas y microceldas de ciertos requisitos de licenciamiento, reconociendo explícitamente la incompatibilidad entre marcos 4G y necesidades de densificación 5G. Portoviejo permanece con ordenanzas sancionadas en 2015, sin adaptación para realidades post-4G.

Esta rigidez municipal es cuantificable: ciclos de despliegue en Portoviejo (6-12 meses por sitio) se estiman 2-4 veces superiores a jurisdicciones con procedimientos simplificados (Brasil: 3-6 meses). Conforme a 5G Americas (2024), procesos administrativos diseñados para tecnologías anteriores "generan fricción regulatoria equivalente a barreras espectrales".

6. CONCLUSIONES

La investigación concluye que el despliegue de 5G RAN en Portoviejo es técnicamente viable mediante la infraestructura 4G existente y la arquitectura NSA Option 3x, con rutas de implementación factibles al integrar modelado técnico (estándares 3GPP y catastro ARCOTEL) [11] y análisis regulatorio (ordenanzas municipales, espectro y Plan de Servicio Universal).

Sin embargo, enfrenta barreras regulatorias clave: ordenanzas municipales restrictivas y costosas (tasas altas, permisos anuales y falta de agilidad para small cells), normativa local obsoleta (2015) que retrasa la implementación 2-4 veces, y la ausencia de asignación nacional de espectro 5G. Sin intervención estatal para liberar frecuencias, ninguna reforma municipal bastará para activar la red operativa.

La ruta de implementación es ejecutable en tres fases secuenciales con triggers de migración explícitos, ofreciendo un framework concreto que responde afirmativamente a la pregunta de

investigación. No obstante, su viabilidad comercial depende de resolver tres factores exógenos simultáneamente:

- Asignación de espectro banda C por ARCOTEL antes del segundo trimestre de 2025.
- Reforma municipal de ordenanzas para modelos diferenciados que habiliten small cells, picoceldas y microceldas con silencio administrativo positivo a 30-60 días (inspirado en Ley brasileña 13.116/2015 o Resolución colombiana ANE 387/2016).
- Coordinación nacional para dismantelar infraestructura 3G y liberar recursos en sitios compartidos.

La principal limitación no es técnica (los 448 eNodeB existentes son reutilizables, las especificaciones arquitectónicas están maduras y la banda C es la portadora primaria identificada internacionalmente), sino regulatoria: nacional (espectro) y municipal (procedimientos administrativos). En ciudades intermedias latinoamericanas, el despliegue de 5G RAN es un desafío de gobernanza integrada, no de ingeniería.

Esta investigación aporta tres elementos clave: demuestra la interdependencia entre políticas nacionales, locales y técnicas; propone una metodología replicable para otros municipios; y cuantifica la fricción burocrática, que incrementa los tiempos de implementación en 100%-300%, equiparándola a la escasez de espectro como barrera principal.

Los hallazgos demandan acciones inmediatas: para 2025, el GAD de Portoviejo debe regular small cells diferenciadamente, y MINTEL/ARCOTEL asignar espectro en banda C antes de junio, para viabilizar la fase 1 NSA (2025-2027) con 8-10 sitios macro en 18-24 meses, junto al dismantelamiento de 3G y migración a Standalone hacia 2030, habilitando IoT y Smart City.

Aunque limitada por datos provinciales no desagregados, ausencia de validación in situ y estimaciones financieras referenciales (lo que afecta precisión cuantitativa pero no la viabilidad técnica ni las barreras identificadas), sugiere futuras investigaciones en modelado de propagación local, análisis costo-beneficio y demanda sectorial.

En conclusión, la viabilidad del 5G en Portoviejo radica en una gobernanza integrada, no en capacidades técnicas; sin articulación de política espectral, regulación municipal e inversión coordinada, la ciudad quedará rezagada en fase pre-5G, confirmando que el despliegue es un reto normativo, temporal y fiscal.

REFERENCIAS

- [1] M. Z. Chowdhury, Md. Shahjalal, S. Ahmed, y Y. M. Jang, "6G Wireless Communication Systems: Applications, Requirements, Technologies, Challenges, and Research Directions", *IEEE Open Journal. Communications of the Society*, vol. 1, pp. 957-975, jul 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2020.3010270>
- [2] Q. V. Khanh, N. V. Hoai, L. D. Manh, A. N. Le, y G. Jeon, "Wireless Communication Technologies for IoT in 5G: Vision, Applications, and Challenges", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2022, no. 1, pp. 1-12, ene. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2022/3229294>.
- [3] A. Mughees, M. Tahir, M. A. Sheikh, y A. Ahad, "Towards Energy Efficient 5G Networks Using Machine Learning: Taxonomy, Research Challenges, and Future Research Directions", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 187498-187522, oct. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3029903>.
- [4] P. Rost et al., "Network Slicing to Enable Scalability and Flexibility in 5G Mobile Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 5, pp. 72-79, may 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600920>.

- [5] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL). "Plan Nacional de Frecuencias", Resolución ARCOTEL no. 4, Quito, Ecuador, feb. 2022, [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/plan-nacional-de-frecuencias/>.
- [6] R. Liu et al., "Integrated sensing and communication based outdoor multi-target detection, tracking, and localization in practical 5G Networks", *Intell. Conver. Netw.*, vol. 4, no. 3, pp. 261-272, sep. 2023, Disponible en: <https://doi.org/10.23919/icn.2023.0021>.
- [7] Asamblea Nacional del Ecuador "Ley para la Transformación Digital y Audiovisual irá a Registro Oficial", nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/noticia/87090-ley-para-la-transformacion-digital-y-audiovisual-ira>
- [8] DPL News, "Ecuador establece 7 ejes para su transformación digital hacia 2030". Accedido: nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://dplnews.com/ecuador-establece-7-ejes-transformacion-digital-2030/>
- [9] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, "Agenda-transformacion-digital-2022-2025", Acuerdo Nro. MINTEL-MINTEL-2022-022-ANEXO, Quito, Ecuador, aug. 2022. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Acuerdo-Nro.-MINTEL-MINTEL-2022-022-ANEXO.pdf>
- [10] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL), "Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador", p. 66, aug. 2021. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/Plan-de-Telecomunicaciones-y-TI..pdf>
- [11] 3rd Generation Partnership Project (3GPP), "Study on migration and interworking for 5G", vol. Technical Report 3GPP TR 21.915 V15.0.0, Oct. 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121900_121999/121915/15.00.00_60/tr_121915v150000p.pdf
- [12] International Telecommunication Union (ITU), "IMT Vision – Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond", sep. 2015. [En línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-S.pdf
- [13] GSMA, "5G Implementation Guidelines: NSA Option 3", Networks, 2018. Acceso: Nov. 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.gsma.com/solutions-and-impact/technologies/networks/gsma_resources/5g-implementation-guidelines-nsa-option-3/
- [14] N. Trabelsi, L. C. Fourati, y C. S. Chen, "Interference Management in 5G and Beyond Networks" *arXiv:2401.01608*, ene. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.01608>.
- [15] K. C. Apostolakis et al., "A network application approach towards 5G and beyond critical communications use cases", *Front. Commun. Netw.*, vol. 5, feb. 2024, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/frcmn.2024.1286660>.
- [16] M. J. Shehab, I. Kassem, A. A. Kutty, M. Kucukvar, N. Onat, y T. Khatlab, "5G Networks Towards Smart and Sustainable Cities: A Review of Recent Developments, Applications and Future Perspectives", *IEEE Access*, vol. 10, pp. 2987-3006, ene. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3139436>.
- [17] V. D. Clavijo Reyes, "Análisis del impacto de la implementación de la tecnología 5G en la ciudad de Guayaquil, Provincia del Guayas, Ecuador," Tesis de grado, Univ. Tecnológica

- Empresarial de Guayaquil (UTEG), Guayaquil, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible: <http://biblioteca.uteg.edu.ec/handle/123456789/1752>
- [18] V. R. Farre Guijarro, "Planificación y optimización de una red 5g en las bandas 3.5/28 ghz para un operador local en el área metropolitana del sector Iñaquito de la ciudad de Quito", Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional, jun. 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25716>
- [19] Secretaría Nacional de Planificación, "Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025 – Secretaría Nacional de la Administración Pública y Planificación", 2024. Accedido: Nov. 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.planificacion.gob.ec/plan-de-desarrollo-para-el-nuevo-ecuador-2024-2025/>
- [20] E. Pupiales, "Estudio y análisis de los aspectos administrativos y económicos de la agenda de transformación digital del ecuador propuesta por el ministerio de telecomunicaciones y de la sociedad de la información - MINTEL", Tesis de Grado, Escuela Politécnica Nacional, abr. 2024. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25433>
- [21] S. P. Herrera, D. Villamarín, y D. Altamirano, "Desafíos para la implementación de redes móviles 5G en Ciudades Patrimoniales caso particular de Quito", *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, no. E68, pp. 594 - 606, abr. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9981842>
- [22] J. Peñafiel, "Estudio de la tecnología 5G y su relación con la calidad del servicio de la red celular en el sector san lorenzo de la ciudad de Lomas de Sargentillo" Tesis de Grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí, mar. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/7862/1/PE%c3%91AFIEL%20PE%c3%91AFIEL%20JONNATHAN%20ALONSO.pdf>
- [23] S. Wijethilaka y M. Liyanage, "Estudio sobre la segmentación de redes para la implementación del Internet de las Cosas en redes 5G", *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 23, no. 2, pp. 957-994, mar. 2021, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3067807>
- [24] A. Banerjee et al., "5G enabled smart cities: A real-world evaluation and analysis of 5G using a pilot smart city application", *Internet Things*, vol. 28, dic. 2024, [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101326>
- [25] ARCOTEL, "Oficio Nro. ARCOTEL-CCON-2025-0875-OF," Quito, D.M., jul. 2025. Disponible en: https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2025/09/18.1._arcotel-czo4-2025-0018_novisolutions_cia._ltda_-signed.pdf
- [26] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, "Plan Nacional de Soterramiento y Ordenamiento 2024", Quito, Ecuador, 2024, pp. 49. Disponible en: https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2024/09/Plan_Nacional_de_Soterramiento_y_Ordenamiento_2024.pdf
- [27] Consejo Municipal del GAD Portoviejo, "Ordenanzas Municipales. Cantón Portoviejo-Sustitutiva al Código Municipal, Libro 2 Componente Territorial, Título IX Capítulo III," Registro Oficial, Edición Especial no. 879, may 18, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://vlex.ec/vid/ordenanzas-municipales-canton-portoviejo-1037186237>
- [28] CNAF Ecuador, Resoluciones ARCOTEL 2021-2025. Quito, Ecuador: Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), 2021-2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/resoluciones-directorio2/>

