Gobernanza inteligente del espectro radioeléctrico en el Perú: Un análisis prospectivo sobre la eficiencia y atribución dinámica frente al despliegue de redes de última generación

Revista Latinoamericana de Economía y Sociedad Digital

Issue 6

DOI: https://doi.org/10.53857/RLESD.06.2026.07

Publicado: 20 octubre, 2026

Recibido: 30 noviembre, 2025

Cita sugerida: Blanco Romero, G, y D. Navarro Granda (2026) Gobernanza inteligente del espectro radioeléctrico en el Perú: Un análisis prospectivo sobre la eficiencia y atribución dinámica frente al despliegue de redes de última generación. Revista Latinoamericana de Economía y Sociedad, 6, 127-138.

Licencia: Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0)

Tipo: Ensayo, Estudio de caso

Palabras clave: 5G Stand Alone, Brecha digital, Espectro radioeléctrico, gobernanza digital, inteligencia artificial

Resumen

La integración de soluciones de inteligencia artificial (IA) y Big Data en la gestión de las telecomunicaciones ofrece un potencial decisivo para optimizar el uso de los recursos escasos, específicamente del espectro radioeléctrico, contribuyendo al cierre de la brecha digital residual. Este artículo analiza la transición desde un modelo de gestión reactivo y fragmentado en el Perú hacia una gobernanza inteligente impulsada por datos. A través de un enfoque metodológico de estudio de caso multicriterio, se evalúa la consistencia técnica y regulatoria del país frente a las tendencias de la Inteligencia de Sistemas Autónomos (ISA) y los esquemas de Acceso Dinámico al Espectro (DSA). Se concluye que el éxito de la tecnología 5G Stand Alone (SA) no es un desafío técnico, sino de diseño institucional y gobernanza, donde el mecanismo de asignación directa por compromisos del Decreto Legislativo 1627 y la adopción de un modelo híbrido de IA surgen como las vías críticas para maximizar el valor público del recurso.

Abstract

The integration of Artificial Intelligence (AI) and Big Data solutions into telecommunications management offers significant potential for optimizing the use of scarce resources, particularly radio spectrum, thereby contributing to closing the residual digital divide. This article analyzes Peru's transition from a reactive and fragmented management model toward data-driven and intelligent governance. Using a multi-criteria case study methodology, the study evaluates the country's technical and regulatory framework against emerging trends in Autonomous Systems Intelligence (ASI) and Dynamic Spectrum Access (DSA) schemes. Overall, the analysis concludes that the successful deployment of 5G Stand Alone (SA) is not solely a technical challenge, but fundamentally an institutional design and governance challenge. In this context, the direct assignment mechanism based on commitments established under Legislative Decree No. 1627, together with the adoption of a hybrid AI model, emerges as a critical pathway for maximizing the public value generated by this scarce resource.

Resumo

A integração de soluções de inteligência artificial (IA) e Big Data na gestão das telecomunicações oferece um potencial decisivo para otimizar o uso de recursos escassos, especificamente do espectro radioelétrico, contribuindo para a redução da lacuna digital residual. Este artigo analisa a transição de um modelo de gestão reativo e fragmentado no Peru para uma governança inteligente orientada por dados. Por meio de uma abordagem metodológica baseada em um estudo de caso multicritério, avalia-se a consistência técnica e regulatória do país diante das tendências da Inteligência de Sistemas Autônomos (ISA) e dos modelos de Acesso Dinâmico ao Espectro (DSA). Conclui-se que o sucesso da tecnologia 5G Standalone (SA) não constitui um desafio técnico, mas sim uma questão de desenho institucional e governança, na qual o mecanismo de atribuição direta mediante compromissos, previsto no Decreto Legislativo nº 1627, e a adoção de um modelo híbrido de IA surgem como caminhos fundamentais para maximizar o valor público desse recurso.

Introducción y contexto global: Tendencias y problemas emergentes

El espectro radioeléctrico se conceptualiza como un recurso natural intangible, escaso y limitado, constituido por ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio sin guía artificial entre los 9 kHz y los 3 000 GHz (3 THz) (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2025). Como bien de dominio público y patrimonio estratégico del Estado, su gestión eficiente constituye la piedra angular para el despliegue de la economía digital y la infraestructura de telecomunicaciones de última generación. De cara al cambio de década, se proyecta que el tráfico total de datos cursado por las tecnologías móviles y los accesos fijos inalámbricos registrará una tasa de crecimiento

global compuesta del 14% anual, impulsado por las redes 5G avanzadas, el ecosistema masivo del Internet de las Cosas (IoT) y los nuevos sistemas satelitales no geoestacionarios (Ericsson, 2025).

A nivel internacional, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR) guían la armonización y atribución internacional de bandas críticas para garantizar un aprovechamiento racional, equitativo y libre de interferencias perjudiciales. Sin embargo, los modelos tradicionales de gobernanza del espectro enfrentan tensiones estructurales debido a la rigidez intrínseca de las licencias estáticas de largo plazo. Para superar estas ineficiencias de asignación temporal y espacial, las agencias reguladoras líderes a nivel mundial están transitando desde esquemas de fiscalización reactiva hacia una gobernanza proactiva basada en marcos adaptativos orientados a resultados (Smith Institute & Spectrivity, 2025):

China (Región de Shanghái): Ha implementado de forma integrada los sistemas LS OBSERVER y SpectrumMap en entornos *cloud*, lo que permite la detección automatizada de anomalías espectrales y la visualización geoespacial del uso real del recurso mediante WebGIS, reduciendo la necesidad de inspecciones físicas tradicionales (Piroonratana et al., 2024).

Región Europea (Iniciativa *ElectroSense*): Despliega redes distribuidas de sensores colaborativos de bajo costo (arquitecturas Raspberry Pi acopladas a receptores RTL-SDR) que permiten el monitoreo espectral continuo y descentralizado mediante datos abiertos masivos (Piroonratana et al., 2024).

Estados Unidos (DARPA / FCC): Desarrolló el proyecto Colosseum, un emulador masivo de radiofrecuencia diseñado para testear entornos virtuales altamente complejos de compartición dinámica de frecuencias (Acceso Dinámico al Espectro – DSA), logrando identificar y mitigar la subutilización de canales en zonas urbanas de alta densidad (Gbenga-Ilori et al., 2025).

Reino Unido (Ofcom): Incorpora de manera sistemática Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) para la revisión automatizada de pliegos de licencias y el desarrollo de '"~~G~~emelos ~~D~~igitales' del entorno radioeléctrico nacional, permitiendo simular el impacto técnico y económico de nuevas políticas antes de su entrada en vigor (Smith Institute & Spectrivity, 2025).

En el ámbito de América Latina, la tendencia regulatoria regional durante los últimos años ha priorizado la liberación oportuna y la adjudicación de bloques de frecuencias contiguos en bandas medias para facilitar el desarrollo tecnológico. Países como Brasil, Chile, Colombia y Argentina lideran los indicadores regionales al haber asignado entre el 80% y el 100% del espectro disponible en la banda prioritaria de 3.5 GHz (OCDE, 2025). Esta velocidad y predictibilidad en la toma de decisiones institucionales contrasta con el panorama peruano, donde el estancamiento y la postergación de los procesos de licitación

generan un severo costo de oportunidad social y un freno a la competitividad económica digital.

A pesar de que el Perú fue uno de los pioneros regionales al atribuir 500 MHz en la banda de frecuencias 3.5 GHz para las soluciones de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT, por sus siglas en inglés) y autorizar las primeras pruebas experimentales de conectividad 5G en el año 2019, la rigidez del modelo de gestión tradicional y la obsolescencia analítica de su infraestructura informática interna (con los sistemas de gestión ELLIPSE e IGACC operativos desde el año 2001) han consolidado un rezago crítico frente a sus pares de la región. En este escenario de alta presión tecnológica y regulatoria, surge la necesidad de evaluar científicamente los mecanismos de optimización del recurso. Por lo tanto, este artículo se estructura formalmente para responder a la siguiente pregunta de investigación principal: ¿En qué medida el tránsito hacia un modelo de Gobernanza Inteligente basado en Inteligencia de Sistemas Autónomos (ISA) y la analítica de Big Data permite optimizar la eficiencia técnica del espectro radioeléctrico y acelerar la transición efectiva hacia redes de telecomunicaciones de arquitectura 5G *Stand Alone* (SA) en el Perú al año 2026?

Marco teórico

La problemática compleja de la administración, optimización y atribución del espectro radioeléctrico se aborda formalmente a través de la confluencia de dos disciplinas principales: la Economía de la Regulación (Teoría de subastas y diseño de mercados) y la Gobernanza Tecnológica (sistemas inteligentes e inteligencia artificial)**.**

Teoría de subastas y modelos de asignación: SMRA CCA

Desde la perspectiva de la economía institucional moderna y el diseño de mercados, el mecanismo de adjudicación adoptado por el Estado determina de manera directa la estructura sectorial y la eficiencia técnica de las redes resultantes. Conforme a las especificaciones de la UIT-R en su Recomendación M.2083-0, la tecnología 5G requiere para el cumplimiento de sus metas de ultra-alta velocidad, ultra-baja latencia (1 ms) y conectividad masiva, la disponibilidad de bloques continuos y limpios de entre 80 MHz y 100 bandas medias (Banda de 3.5 GHz) (Ericsson, 2025).

La literatura económica e industrial identifica dos modelos predominantes de subastas pluri-objeto que buscan resolver las asimetrías de información y maximizar el valor de asignación (McHenry et al., 2005):

***Simultaneous Multiple Round Auction (SMRA)*:** Permite un descubrimiento dinámico y transparente de precios a lo largo de múltiples rondas simultáneas. No obstante, introduce el denominado ‘riesgo de exposición’, donde los operadores postores, debido a restricciones presupuestarias o estrategias de competencia, corren el riesgo de adjudicarse bloques discontinuos, dispersos o insuficientes para lograr la viabilidad técnica de la tecnología, exacerbando la fragmentación del recurso (McHenry et al., 2005).

***Combinatorial Clock Auction (CCA)*:** Estructura la subasta en una fase de reloj abstracta seguida de una puja suplementaria de sobre cerrado, permitiendo a los operadores ofertar exclusivamente por combinaciones o paquetes cerrados de espectro (enfoque de 'todo o nada'). Desde la teoría microeconómica, el modelo CCA resulta superior para garantizar la contigüidad absoluta del espectro y prevenir ineficiencias técnicas post-subasta, eliminando por completo el riesgo de fragmentación del recurso (McHenry et al., 2005).

Valorización del recurso y compromisos de inversión

Siguiendo los lineamientos globales de la Global System for Mobile Communications Association – GSMA, los esquemas de adjudicación de espectro con un enfoque puramente recaudatorio (caracterizados por establecer precios de reserva fiscales elevados) drenan los flujos de capital esenciales que las empresas operadoras requieren para el despliegue intensivo de la infraestructura física (antenas, celdas y tendido de fibra óptica para el '*backhaull*'), deteniendo el tránsito hacia la arquitectura de red 5G *Stand Alone* (SA) (OCDE, 2025). La teoría de la regulación moderna propone sustituir total o parcialmente la contraprestación económica dineraria directa por compromisos obligatorios de inversión. Este diseño contractual orienta el valor del recurso escaso hacia la expansión de la frontera de conectividad en zonas rurales o de escaso interés comercial, logrando capturar un mayor valor social neto y un beneficio económico a largo plazo que supera el ingreso fiscal transitorio (OCDE, 2025).

Acceso Dinámico al Espectro (DSA) y Radio Cognitiva (CR)

Frente a la imposibilidad física de expandir el espectro disponible, la disciplina de la gobernanza tecnológica introduce el Acceso Dinámico al Espectro (DSA). Este paradigma rompe con el modelo clásico de exclusividad de frecuencias e introduce esquemas flexibles basados en prioridades, permitiendo que usuarios secundarios accedan de forma dinámica a porciones de espectro temporal o geográficamente ociosas ('*white spaces*'), con la condición estricta de no causar interferencias perjudiciales al licenciatario primario (Akyildiz et al., 2020). La viabilidad operativa de este esquema se sustenta en la tecnología de Radio Cognitiva (CR), un sistema inteligente de comunicación inalámbrica que analiza activamente su entorno de radiofrecuencia, detecta canales disponibles mediante algoritmos de sensado del espectro y modifica sus parámetros de transmisión en tiempo real para mitigar los efectos del desvanecimiento de señal y la subutilización geográfica (Akyildiz et al., 2020).

Metodología

¿Este estudio adopta un enfoque metodológico de estudio de caso cualitativo (Stake, 2005; Yin, 2018), articulado bajo los fundamentos de la Evaluación Multicriterio Social (SMCE, por sus siglas en inglés) (Munda, 2004; 2008) centrado en la gobernanza institucional del Estado peruano al horizonte del año 2026. El caso del Perú se constituye como una unidad de análisis idónea y crítica debido a una marcada paradoja regulatoria: a pesar de haber sido uno de los primeros países de la subregión en atribuir y habilitar frecuencias para IMT,

presenta actualmente una brecha de desempeño digital severa en sus redes comerciales móviles y mantiene una infraestructura analítica estática basada en sistemas legados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2023).

El análisis empírico y la posterior modelación teórica se fundamentan en la evaluación transversal de cuatro criterios e indicadores empíricos específicos:

1.Evolución normativa e institucional: Examen del impacto de las resoluciones ministeriales precedentes (R.M. 687-2018-MTC y R.M. 709-2020-MTC) y los recientes marcos normativos del Poder Ejecutivo (Decreto Legislativo º 1627 y Decreto Legislativo N.º 1624) para identificar la flexibilidad regulatoria del Estado (MTC, 2023; Poder Ejecutivo, 2024).

2.Brecha de disponibilidad y escasez artificial: Cuantificación del espectro formalmente atribuido en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF) frente al volumen de espectro efectivamente asignado y en explotación comercial en el mercado de telecomunicaciones (MTC, 2023).

3.Métricas de desempeño de red y experiencia de usuario: Evaluación empírica y comparativa de la velocidad de descarga móvil real utilizando los reportes de Opensignal (2025), contrastando el factor de mejora técnica al migrar de 4G a 5G y el impacto directo de la arquitectura de red (*Stand Alone* frente a *Non-Stand Alone*).

4.Factores de Gobernanza Inteligente (Modelo de las 5V de Big Data): Evaluación de la capacidad técnica del Registro Nacional de Frecuencias bajo los principios de la analítica de datos a gran escala y las disposiciones éticas y operativas de la Ley º 31814 (Ley de Inteligencia Artificial en el Perú).

Análisis de datos e Iindicadores empíricos

El diagnóstico del rezago peruano: Datos de *Opensignal* (2025)

El análisis cuantitativo de la experiencia de usuario provisto por las mediciones globales aporta la primera respuesta objetiva a nuestra pregunta de investigación, evidenciando que la rigidez regulatoria se traduce en una degradación directa de la eficiencia técnica del recurso. Al evaluar el factor de mejora real en las velocidades de descarga móvil que experimentan los usuarios al pasar de la tecnología 4G a la tecnología 5G, los datos sitúan al Perú en una posición de rezago crítico frente a los líderes regionales:

Tabla 1. Comparación internacional de la mejora de velocidad de descarga móvil entre 4G y 5G

País	**Factor de Mejora de Velocidad (4G a 5G)**	**Tipo de Red Predominante**	**Estado de la Banda 3.5 GHz**
Colombia	11.3x	5G Stand Alone (SA)	80% – 100% Asignado (Bloques continuos)
Brasil	10.9x	5G Stand Alone (SA)	80% – 100% Asignado (Bloques)
Perú	2.0x	5G non Stand Alone (SA)	Fragmentado / Subutilizado

Fuente: Elaboración propia basada en los datos analíticos globales de *Opensignal* (2025)

La explicación del desempeño espectral en el caso peruano (restringido a un factor de mejora de apenas 2.0x) se encuentra directamente vinculada a las decisiones normativas precedentes del Estado. Mediante la expedición de la R.M. 709-2020-MTC, el MTC autorizó a las empresas operadoras a desplegar servicios comerciales 5G bajo sus asignaciones existentes en la banda de 3.5 GHz, pero sobre bloques atomizados, dispersos y discontinuos que promedian 25 MHz por operador (acumulando 50 MHz en todo el mercado móvil) (MTC, 2023). Esto forzó un despliegue bajo la arquitectura *Non-Stand Alone* (NSA), una modalidad técnica que utiliza el núcleo o 'core' de la red 4G existente como anclaje, estrangulando las capacidades de velocidad nativas de la nueva tecnología y bloqueando los beneficios de ultra-baja latencia y network slicing que solo provee la arquitectura *Stand Alone* (SA) (Ericsson, 2025).

La paradoja de la capacidad ociosa y rigidez legal

El análisis exhaustivo del PNAF actual (aprobado y actualizado mediante la R.M. 0597-2023-MTC/01.03) determina que el Estado peruano tiene formalmente atribuidas doce bandas de frecuencias para el desarrollo de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT), las cuales suman un espectro total teórico de 4 590 MHz disponibles para su explotación. No obstante, el diagnóstico empírico de asignación revela una profunda paradoja de capacidad ociosa estructural: aproximadamente 3 460 MHz (el 75.3% del total atribuido) se mantiene en situación de inactividad comercial, configurando una escasez artificial en detrimento del mercado digital (MTC, 2023).

Esta ineficiencia se concentra de forma asimétrica en dos dimensiones críticas:

Banda Ondas Milimétricas (Banda de 26 GHz): Concentra la mayor proporción de espectro ocioso absoluto, registrando 3 250 MHz completamente disponibles sin ningún tipo de asignación o explotación comercial vigente para servicios de alta capacidad (MTC, 2023).

Bandas de 450 MHz, 800 MHz y 1 900 MHz: Presentan problemas históricos de

fragmentación técnica o se encuentran parcialmente ocupadas por operadores que explotan tecnologías legadas obsoletas (como CDMA2000 e iDEN), cuyos bajísimos rendimientos espectrales bloquean la liberación y canalización de bloques continuos aptos para redes 4G y 5G en áreas rurales del país (MTC, 2023).

A este panorama se le suma el principal cuello de botella institucional del caso peruano: la existencia de los contratos de concesión con calidad de 'contratos-ley' suscritos por el Estado con los principales operadores del mercado (Entel, Bitel, Claro e Integratel) (Poder Ejecutivo, 2024). Esta armadura jurídica impide al MTC ejecutar procesos unilaterales de reordenamiento de bandas, determinando así que cualquier optimización orientada a limpiar y agrupar el espectro fragmentado dependa de complejas negociaciones bilaterales y de la renuncia voluntaria de frecuencias por parte de los operadores privados, perpetuando la ineficiencia del recurso.

Evaluación del giro estratégico: El Decreto Legislativo 1627

Con el objetivo de quebrar el esquema burocrático tradicional de asignación exclusiva mediante concurso público de sobre cerrado —el cual ha demostrado ser incapaz de resolver el problema de la fragmentación— y modernizar el Registro Nacional de Frecuencias (que aún opera sobre bases de datos desconectadas vigentes desde 2001), el Poder Ejecutivo promulgó el Decreto Legislativo N.º 1627. Este marco normativo faculta al MTC a implementar de forma excepcional el mecanismo de Asignación Directa de Espectro por Compromisos de Inversión para el despliegue de servicios 5G o superiores, condicionado a la verificación de la no existencia de escasez de solicitudes en la banda evaluada (Poder Ejecutivo, 2024).

Este nuevo instrumento altera radicalmente la matriz de incentivos del sector: permite que, mediante un único acto administrativo de concertación técnica, el Estado acuerde con los operadores privados la devolución voluntaria de sus bloques dispersos e ineficientes en la banda de 3.5 GHz a cambio de la adjudicación directa de bloques limpios y continuos de 100 MHz. Con ello, el marco normativo destraba el obstáculo de los contratos-ley y sienta la infraestructura habilitante indispensable para el tránsito hacia redes competitivas 5G *Stand Alone* (SA) (Poder Ejecutivo, 2025).

Discusión: Hacia un modelo de gobernanza inteligente

Los datos empíricos presentados demuestran de manera contundente que limpiar las bandas mediante herramientas legales como el D.L. 1627 constituye una condición necesaria, pero insuficiente por sí misma para resolver la problemática en el largo plazo. Para responder a la optimización continua que exige nuestra pregunta de investigación frente al tráfico dinámico del año 2026, resulta indispensable reestructurar el Registro Nacional de Frecuencias del MTC a través de la analítica avanzada de Big Data y las directrices de gobernanza algorítmica establecidas en la Ley N.º 31814 (Ley de Inteligencia Artificial en el Perú).

Aplicación del modelo de las 5V al espectro peruano

La transformación digital del regulador peruano exige la migración desde un registro estático hacia un ecosistema gobernado por los cinco pilares de Big Data (Piroonratana et al., 2024):

Volumen: Centralización y almacenamiento masivo de *terabytes* de telemetría provenientes de los sistemas de monitoreo técnico de radiofrecuencia e indicadores de red compartidos por los operadores en un repositorio unificado (Data Warehouse), eliminando los silos de información manuales en formatos PDF u hojas de cálculo (Piroonratana et al., 2024).

Velocidad: Procesamiento de flujos de datos en tiempo real mediante arquitecturas distribuidas para identificar de forma inmediata anomalías, picos de tráfico o la presencia de interferencias no autorizadas en bandas asignadas dinámicamente (Piroonratana et al., 2024).

Variedad: Integración analítica de datos heterogéneos mediante herramientas de Reconocimiento Óptico de Caracteres (OCR) y Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) que permitan correlacionar expedientes legales históricos, resoluciones ministeriales y contratos-ley con series temporales geo-espaciales de tráfico y cobertura móvil (Piroonratana et al., 2024).

Veracidad: Utilización de algoritmos de limpieza de datos y matrices de confusión (Confusion Matrix) para validar y depurar la calidad de la telemetría reportada, garantizando que el diseño de las políticas regulatorias esté fundamentado en indicadores empíricos fidedignos y libres de sesgo (Piroonratana et al., 2024).

Valor: Conversión de los datos crudos en conocimiento estratégico y predictivo para construir indicadores de salud de las bandas, permitiendo al Estado anticipar escenarios de congestión y optimizar los precios de reserva y las condiciones técnicas de las subastas en bandas emergentes (Banda L y Banda de 600 MHz) (Piroonratana et al., 2024).

Técnicas de IA y modelado predictivo

Con el propósito de mitigar las asimetrías de información provocadas por el modelo de ‘bucle cerrado’, donde los datos granulares y en tiempo real sobre el tráfico y congestión de la red pertenecen exclusivamente a las empresas operadoras privadas, este estudio plantea la adopción regulatoria del Aprendizaje Federado (*Federated Learning*). Esta técnica permite entrenar modelos predictivos de aprendizaje automático directamente en la infraestructura descentralizada de cada operador móvil, consolidando un algoritmo global en el MTC sin necesidad de transferir datos comerciales sensibles o vulnerar secretos de mercado (Gbenga-Ilori et al., 2025).

Para garantizar una gestión proactiva de anomalías y la fiscalización inteligente de licencias, el marco de gobernanza propuesto introduce soluciones algorítmicas específicas estructuradas bajo métricas de alta precisión:

Tabla 2. Soluciones de IA para la gobernanza inteligente del espectro radioeléctrico

Problema de Gestión	Solución de IA / Técnica	Fuente de datos	Definición Técnica / Métrica
Interferencias perjudiciales	Triangulación TDOA (Time Difference of Arrival)	Sensores RF distribuidos	Localización geoespacial matemática por diferencia de tiempo de llegada a tres o más receptores fijos o móviles.
Análisis de demanda futura	Modelos de Feature Importance (Random Forest / XGBoost)	Histórico de tráfico / Datos IoT	Scoring y ponderación jerárquica de variables socioeconómicas y de densidad urbana para predecir necesidades de espectro.
Validación y auditoría de licencias	NLP / Text Analytics (Modelos de Clasificación)	Documentos PDF / Informes de cumplimiento	Procesamiento de lenguaje natural para validar automáticamente el cumplimiento de los estándares con precisiones del 99.8% (F-Measure).

Fuente: Elaboración propia basada en las aplicaciones técnicas de IA para la gestión y analítica de frecuencias (Gbenga-Ilori et al., 2025; Smith Institute & Spectrivity, 2025).

El principio de Inteligencia Híbrida (*Human-in-the-loop*)

Un aspecto fundamental de la discusión teórico-regulatoria de este estudio radica en el rechazo explícito a la automatización absoluta o delegación algorítmica total en el ámbito de las decisiones de política pública. Conforme a las directrices de la OCDE (2025) y los principios rectores de la Ley N.º 31814, este artículo defiende un modelo institucional de Inteligencia Híbrida: los sistemas de IA asumen las funciones complejas de procesamiento masivo, predicción espacio-temporal de canales (mediante redes neuronales recurrentes LSTM[1]) y simulación analítica a través de 'gemelos digitales', pero la supervisión jurídica, ética, la valoración discrecional y el control estratégico quedan reservados estrictamente al componente humano ('*human-in-the-loop*'). Este diseño previene la materialización de riesgos críticos asociados a falsos positivos en la revocación automatizada de licencias o la imposición de sanciones algorítmicas sin el debido proceso legal (OCDE, 2025).

Conclusiones y recomendaciones

Este documento concluye que el tránsito hacia un modelo de gobernanza inteligente basado en Inteligencia de Sistemas Autónomos (ISA) y Big Data constituye una vía metodológica y técnica viable para superar la ineficiencia estructural del espectro en el Perú. El despliegue aislado de nueva infraestructura física resulta inocuo si se mantiene sobre bandas de frecuencias fragmentadas y atomizadas. La IA y el Big Data actúan como los catalizadores analíticos indispensables para diagnosticar el uso real del recurso en tiempo real, predecir las demandas de tráfico cambiantes y operar de manera segura esquemas dinámicos. En esa

línea, resulta indispensable el aprovechamiento integral del D.L. 1627 para la contigüidad y rapidez en los procesos de asignación. Para ello, el rol del ente rector en materia de comunicaciones resulta indispensable para impulsar la implementación de mecanismos excepcionales para la asignación directa de las bandas de frecuencias destinadas para la tecnología 5G y superiores.

Finalmente, la validación y Mitigación de Riesgos vía Sandboxes Regulatorios conducidos por el MTC y el Osiptel permitirán testear de manera segura los algoritmos de Acceso Dinámico al Espectro (DSA) y los modelos de IA encargados de la detección de canales sub utilizados, validando que las soluciones automatizadas se ajusten estrictamente a los principios de proporcionalidad, transparencia y explicabilidad exigidos por la OCDE.

Referencias

Akyildiz, I. F., Lee, W. Y., & Chowdhury, K. R. (2020). *CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks*. *Ad Hoc Networks, 7*(5), 810–836. https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102111

Ericsson. (2025). *Ericsson Mobility Report, November 2025*. Ericsson Holding. https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report

Gbenga-Ilori, A., Smith, J., & Alvarez, M. (2025). Artificial intelligence empowering dynamic spectrum access. *AI and Telecommunications Journal, 6*(6), 122–138. https://doi.org/10.1109/TAI.2025.10432

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), 1735–1780. https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735

McHenry, M. A., Tenhula, P. A., McCloskey, D., Roberson, D. A., & Hood, C. S. (2005). Spectrum occupancy measurements and auction design efficiency. *Shared Spectrum Company & IEEE Press*. https://doi.org/10.1109/DYSPAN.2005.15426

Munda, G. (2004). Social multi-criteria evaluation: Methodological foundations and operational consequences. *European Journal of Operational Research*, 158(3), 662–677. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00369-2

Munda, G. (2008). *Social multi-criteria evaluation for a sustainable economy*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-73703-2

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (2025). *OECD Regulatory Policy Outlook 2025*. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264310542-en

Perú, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). *Resolución Ministerial N.º 0597-2023-MTC/01.03, que aprueba la actualización del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias (PNAF).* Diario Oficial *El Peruano*.

Perú, Poder Ejecutivo. (2024). *Decreto Legislativo N.º 1627, Decreto Legislativo que*

modifica la Ley de Telecomunicaciones para promover el despliegue de infraestructura y servicios 5G y superiores mediante compromisos de inversión. Diario Oficial *El Peruano*.

Perú, Poder Ejecutivo. (2025). *Decreto Supremo N.º 004-2025-MTC, que aprueba el Reglamento Operativo para la Asignación Directa bajo el amparo del D. L. N.º 1627*. Diario Oficial *El Peruano*.

Piroonratana, T., Wuttisittikulkij, L., & Prasongsin, S. (2024). The application of artificial intelligence in spectrum management and the analytics of frequency data using big data technology. *IEEE Access, 12*, 45210–45228. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3389122

Smith Institute, & Spectrivity. (2025). *AI for spectrum management: Technical and prospective report for the Spectrum Policy Forum*. UK Spectrum Policy Forum. https://www.ukspf.org.uk/resources/ai-spectrum-report

Stake, R. E. (2005). *Qualitative case studies. En N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.)*, The Sage handbook of qualitative research (3.ª ed., pp. 443–466). SAGE Publications.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6.ª ed.). SAGE Publications.

Notas

↑1 LSTM (Long Short-Term Memory / Redes de Memoria a Corto y Largo Plazo): Red que procesa y predice secuencias o series temporales continuas, mitigando el problema del desvanecimiento del gradiente para retener patrones históricos prolongados en el canal de radiofrecuencia (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).