



Transformación digital en la gestión de activos: El papel de los datos y la analítica predictiva en el mantenimiento inteligente en Colombia

Informe Opción de Grado
Modalidad: Misión Internacional

Autor
Julián Espinosa Piñeros

Director
PhD Fabián Chaparro Becerra

Universidad Santo Tomas
Especialización en Gestión de las Nuevas Tecnologías de las Telecomunicaciones
Tunja, Colombia
Febrero de 2026

Contenido

Introducción.....	3
Problema y Pertinencia.....	4
Objetivos	5
Método.....	6
Aplicación en Colombia	7
Conclusiones y recomendaciones	11
Referencias.....	12

Introducción

La transformación digital ha impulsado a las organizaciones a revisar detalladamente la forma en que administran sus recursos, especialmente en sectores críticos en infraestructura como las telecomunicaciones. La gestión de activos físicos y tecnológicos se ha convertido en un elemento estratégico para garantizar continuidad operativa, eficiencia y calidad del servicio.

Este concepto ha tomado especial relevancia en empresas de telecomunicaciones, donde la infraestructura de red, los equipos de transmisión y los sistemas de soporte representan inversiones elevadas y críticos niveles de disponibilidad.

La evolución del IoT, la analítica de datos y la inteligencia artificial ha permitido el surgimiento del mantenimiento predictivo, un conjunto de técnicas que utilizan datos en tiempo real para anticipar fallas y optimizar intervenciones. Para el sector de las telecomunicaciones, este enfoque permite detectar deterioro en equipos como radios, nodos 4G/5G, servidores o sistemas de soporte antes de que presenten fallas que afecten la experiencia del usuario.

En América Latina, y particularmente en Colombia, la expansión de redes 4G y el despliegue progresivo de 5G han incrementado la complejidad operativa del sector de telecomunicaciones. Según la Global System for Mobile Communications Association (GSMA), el ecosistema móvil regional continúa creciendo y avanzando hacia procesos más digitalizados, lo que exige mayor eficiencia y resiliencia en la gestión de infraestructura [1]. Este contexto refuerza la necesidad de integrar analítica de datos y modelos predictivos en los procesos de mantenimiento y gestión de activos.

En mi experiencia como desarrollador de bases de datos en una empresa de soluciones TI, he podido observar cómo la transformación digital está redefiniendo la gestión de activos en el sector de telecomunicaciones en Colombia. El presente trabajo analiza el papel de los datos, la gestión de activos y la analítica predictiva en el mantenimiento inteligente dentro del sector de telecomunicaciones en Colombia, resaltando cómo estas tecnologías pueden fortalecer la continuidad operativa, reducir tiempos de inactividad y mejorar el aprovechamiento de los activos tecnológicos.

Problema y Pertinencia

En el sector de telecomunicaciones, muchas empresas aún enfrentan desafíos como la dependencia de sistemas tradicionales para la gestión de activos, la falta de integración de datos entre plataformas y la ausencia de modelos predictivos que permitan anticipar fallas en infraestructura crítica. Esta situación genera altos costos operativos, tiempos de inactividad y riesgos para la continuidad del servicio. No obstante, muchas organizaciones aún dependen de esquemas de mantenimiento correctivo o preventivo, con baja integración entre las fuentes de información operativa (red, infraestructura, soporte) y los sistemas corporativos de datos. Como consecuencia, esto limita conocer el estado real de los activos, dificulta la toma de decisiones basada en datos y aumenta la probabilidad de fallas no previstas en elementos críticos de la red.

A esta problemática se suma el crecimiento de la infraestructura asociada a 4G, 5G, fibra óptica y soluciones IoT ha aumentado considerablemente la cantidad de datos que generan los equipos y sistemas de telecomunicaciones. Sin embargo, en muchos casos esta información no se aprovecha de manera adecuada, ya sea por limitaciones en las herramientas de almacenamiento y análisis o porque no se cuenta con modelos que permitan convertir los datos en información útil para anticipar fallas y mejorar el mantenimiento de los equipos. Además, en América Latina aún existen desafíos en la formación de profesionales con habilidades en analítica de datos y tecnologías digitales, lo que dificulta la implementación de soluciones más avanzadas basadas en datos [2].

Estas deficiencias se traducen en consecuencias concretas: tiempos de indisponibilidad superiores a los niveles deseables, sobrecostos asociados a mantenimientos correctivos no planificados, dificultades para priorizar inversiones en infraestructura crítica y riesgos para la continuidad y calidad del servicio ofrecido a los usuarios finales. Desde una perspectiva país, estas ineficiencias impactan la competitividad del sector de telecomunicaciones, reconocido por organismos internacionales como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como un habilitador fundamental para la economía digital, el desarrollo productivo, los servicios públicos digitales y las iniciativas de ciudades inteligentes.

En este escenario, analizar la transformación digital en la gestión de activos en el sector de telecomunicaciones resulta no solo pertinente, sino necesario. En Colombia, existen lineamientos oficiales que promueven el uso estratégico de los datos y la adopción de tecnologías digitales como herramientas para mejorar la productividad y la competitividad del país [3][4]. Por ello, las empresas, especialmente aquellas que operan infraestructura crítica como redes de telecomunicaciones, deben avanzar hacia modelos de gestión más apoyados en información confiable y análisis de datos.

A nivel internacional, la gestión moderna de activos reconoce que el uso adecuado de la información permite reducir riesgos, optimizar recursos y tomar decisiones más acertadas sobre el mantenimiento y la renovación de equipos [5][6]. Por consiguiente, fortalecer el uso de datos y la analítica predictiva en el mantenimiento de redes no es solo una tendencia tecnológica, sino una necesidad estratégica para mejorar la eficiencia operativa, la continuidad del servicio y la competitividad del sector en Colombia.

Objetivos

Objetivo General

Analizar cómo la transformación digital, apoyada en el uso de datos y analítica predictiva, puede fortalecer la gestión de activos y el mantenimiento inteligente en el sector de telecomunicaciones en Colombia.

Objetivos Específicos

- Identificar los principales desafíos en la gestión de activos del sector de telecomunicaciones en Colombia, especialmente en relación con la integración y aprovechamiento de datos.
- Analizar las tecnologías y prácticas de transformación digital aplicadas a la gestión de activos, tales como IoT, big data y mantenimiento predictivo.
- Evaluar los beneficios y retos asociados a la implementación de analítica predictiva en el mantenimiento de infraestructura de telecomunicaciones.
- Proponer lineamientos y recomendaciones para fortalecer la gestión inteligente de activos en el contexto colombiano.

Método

El presente trabajo cuenta con un enfoque cualitativo de carácter descriptivo–analítico, orientado a examinar la transformación digital en la gestión de activos del sector de telecomunicaciones en Colombia. La investigación se fundamenta en la revisión y análisis crítico de literatura académica, documentos sectoriales e informes institucionales relacionados con el uso de big data, IoT y analítica predictiva en procesos de mantenimiento inteligente.

El análisis integra tres fuentes principales de información:

- **Literatura académica y documentos técnicos:** Artículos científicos, informes sectoriales y estándares internacionales sobre gestión de activos, mantenimiento predictivo y digitalización en telecomunicaciones, con énfasis en el contexto latinoamericano.
- **Aportes de la misión académica en Brasil:** Reflexiones y contenidos derivados de conferencias y visitas técnicas relacionadas con transformación digital, mantenimiento inteligente y gestión de infraestructura tecnológica.
- **Análisis técnico desde la experiencia profesional:** Reflexión aplicada sobre desafíos asociados a la integración de datos, calidad de la información y uso de bases de datos en entornos corporativos, particularmente en escenarios vinculados al sector de las telecomunicaciones.

El desarrollo metodológico se estructuró en las siguientes etapas:

- **Selección de fuentes relevantes (2018–2025):** Identificación de documentos y publicaciones relacionadas con transformación digital y gestión de activos en telecomunicaciones.
- **Organización temática de la información:**
Clasificación del contenido en ejes de análisis:
 - Desafíos actuales en la gestión de activos.
 - Tecnologías habilitadoras (IoT, big data, analítica predictiva).
 - Beneficios y oportunidades del mantenimiento inteligente.
 - Retos para el contexto colombiano.
- **Análisis comparativo y contextual:** Contrastación entre tendencias internacionales y la realidad del sector telecomunicaciones en Colombia, identificando brechas y oportunidades de mejora.
- **Síntesis y formulación de recomendaciones:** Elaboración de propuestas orientadas a fortalecer la gestión inteligente de activos en el país.

Aplicación en Colombia

1. Desafíos actuales en la gestión de activos en el sector telecomunicaciones en Colombia

Uno de los principales desafíos identificados en el sector de las telecomunicaciones colombiano es la alta dependencia del mantenimiento reactivo y preventivo programado. Aunque se habla mucho de predicción de datos, su aplicación real es limitada. Las empresas suelen restringir estos modelos a la infraestructura crítica, donde el riesgo es alto y la inversión se justifica, o los mantienen como proyectos piloto debido a dificultades técnicas, falta de datos limpios o escasez de personal capacitado.

En términos generales, se observa que una proporción significativa de intervenciones técnicas responde a fallas posteriores al servicio, lo cual incrementa costos operativos y tiempos de indisponibilidad. Esta dependencia del mantenimiento correctivo impacta directamente indicadores clave como:

- **MTTR (Mean Time To Repair):** Al ser fallas inesperadas, el equipo técnico suele estar desprevenido, sin los repuestos a mano o fuera del lugar de la falla, lo que eleva este indicador (tardas más en volver a la normalidad).
- **MTBF (Mean Time Between Failures):** Como se actúa sobre la emergencia y no sobre la causa raíz o el desgaste preventivo, los equipos fallan con más frecuencia, reduciendo el tiempo de buen funcionamiento.
- **Costos operativos por kilómetro de red:** Este es el indicador financiero crítico. El mantenimiento correctivo es, de media, entre 3 y 5 veces más caro que el preventivo, debido a horas extra, envíos urgentes de repuestos y la logística de emergencia.

Esta situación se hace evidente al realizar comparaciones regionales: los tiempos de recuperación en Colombia llegan a duplicar los estándares de otros mercados latinoamericanos con mayor madurez en gestión de activos. Ante este escenario, la transición hacia modelos predictivos se presenta como la solución fundamental; solo mediante la anticipación basada en datos será posible cerrar la brecha regional, estabilizar los indicadores de fiabilidad y optimizar el gasto operativo de manera sostenible.

1.1. Fragmentación de datos y silos informativos

Un desafío estructural crítico es la fragmentación de la información técnica y administrativa. Según la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), la coexistencia de sistemas aislados —como **OSS/BSS** (monitoreo y tickets), **GIS** (inventario geográfico) y **ERP** (finanzas y suministros)— genera 'islas de datos' que impiden una visión unificada del negocio.

Esta falta de integración bloquea la capacidad de correlacionar eventos de red en tiempo real con históricos de fallas y costos operativos, anulando el potencial de los modelos analíticos avanzados. De hecho, diversas investigaciones académicas en Colombia confirman que muchos planes de mantenimiento aún ignoran datos georreferenciados y de desempeño histórico, lo que limita la capacidad de predicción y mantiene a la operación en un estado reactivo.

En conclusión, la superación de estos desafíos exige una transición desde sistemas aislados hacia un Ecosistema de Datos Unificado. No basta con recolectar información; es imperativo integrar las capas operativa (OSS), geográfica (GIS) y financiera (ERP) en una arquitectura común.

Solo al romper estos silos de información se podrá transformar la data dispersa en activos estratégicos, permitiendo que los modelos predictivos identifiquen patrones de falla antes de que ocurran. Este salto tecnológico no solo optimizará el gasto operativo y mejorará los indicadores de disponibilidad, sino que posicionará a la operación en Colombia a la vanguardia de los estándares regionales, convirtiendo la eficiencia técnica en una ventaja competitiva sostenible.

1.2. Infraestructura crítica y limitaciones en el monitoreo inteligente

Colombia posee una robusta infraestructura de telecomunicaciones compuesta por torres, nodos de red, estaciones base y sistemas de respaldo energético. Sin embargo, la adopción de sensores IoT (Internet of Things) y sistemas de monitoreo inteligente presenta un atraso significativo frente a los estándares internacionales.

Esta brecha tecnológica limita la capacidad de capturar datos en tiempo real, lo que restringe la implementación de modelos de mantenimiento avanzados. Esta carencia es especialmente crítica en el despliegue de redes 5G y centros de datos, infraestructuras que exigen una disponibilidad cercana al 100% y donde cualquier retraso en la detección de fallas impacta directamente en la continuidad del ecosistema digital.

1.3. Impacto económico y organizacional

La persistencia de un modelo de mantenimiento reactivo impacta severamente la estructura de costos, derivando en gastos excesivos por intervenciones de emergencia, logística de desplazamientos no planificados y la depreciación acelerada de activos por falta de mantenimiento preventivo. Diversos análisis sectoriales coinciden en que la migración hacia modelos predictivos no solo optimizaría el flujo de caja, sino que garantizaría una estabilidad operativa superior.

No obstante, esta transición no depende únicamente de la adquisición de tecnología; se enfrenta a barreras estructurales profundas:

- **Brecha de Talento:** Existe un déficit crítico de perfiles especializados en analítica de datos y ciencia de datos aplicada a operaciones técnicas.
- **Deuda Técnica (Legacy):** La alta dependencia de plataformas tecnológicas heredadas dificulta la integración de nuevas soluciones y la escalabilidad de procesos automáticos.
- **Manualidad en la Gestión:** El uso extendido de herramientas de consolidación manual fragmenta la veracidad de la información y ralentiza la toma de decisiones.

Estas limitaciones demuestran que el verdadero reto es una transformación integral, que requiere un cambio en la cultura organizacional y un compromiso estratégico para superar la inercia de los sistemas tradicionales

2. Tecnologías habilitadoras para el mantenimiento inteligente

A nivel global, la literatura científica y los informes sectoriales coinciden en que el mantenimiento predictivo, impulsado por Machine Learning, es el estándar de excelencia para la gestión de activos modernos. El uso de algoritmos de aprendizaje automático permite no solo identificar patrones de falla con antelación, sino también estimar con precisión la Vida Útil Remanente (RUL - Remaining Useful Life) de los componentes críticos [7][13]. Este ecosistema tecnológico se sustenta en tres pilares: sensores IoT para la captura, sistemas de monitoreo en tiempo real para el transporte de datos y arquitecturas de Big Data para el procesamiento masivo de información.

En el contexto latinoamericano, investigaciones aplicadas a los sectores industrial y energético han validado la viabilidad técnica de estos modelos en equipos de alta criticidad [15][16]. Estas experiencias demuestran que el análisis avanzado de datos es capaz de mitigar fallas catastróficas y transformar la planeación del mantenimiento en una función estratégica y proactiva.

Brasil se posiciona como el líder indiscutible en la implementación de estas soluciones, impulsado por una robusta política de transformación digital y automatización industrial. En el sector de telecomunicaciones, operadores como TIM, Vivo y Claro han integrado Inteligencia Artificial para gestionar la complejidad de sus redes 5G, utilizando algoritmos que permiten anticipar picos de demanda y fallos en infraestructuras críticas, como estaciones base y centros de datos. Estas experiencias en Brasil demuestran que el mantenimiento inteligente no solo reduce el tiempo de inactividad, sino que es un pilar fundamental para garantizar la calidad del servicio y la competitividad en mercados con alta penetración tecnológica.[20].

En el panorama nacional, informes de la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) y del MinTIC confirman que el sector de las telecomunicaciones en Colombia ya ha iniciado la integración de Inteligencia Artificial y herramientas analíticas para sofisticar sus procesos operativos [11][14]. Sin embargo, el despliegue es heterogéneo; ya que persiste una brecha importante entre las organizaciones líderes y el resto del sector, principalmente debido a disparidades en la madurez analítica y en la capacidad de integración sistémica de sus datos.

3. Beneficios y oportunidades del mantenimiento inteligente

La transición hacia un mantenimiento inteligente permite migrar de una lógica reactiva, basada en la reparación tras la falla, hacia una estrategia proactiva centrada en la anticipación. De acuerdo con revisiones académicas sobre el análisis de datos masivos, los beneficios primordiales incluyen la reducción drástica de los tiempos de inactividad, una planificación precisa de los recursos técnicos y un incremento sustancial en la confiabilidad de los activos críticos [7][13].

En el contexto nacional, el mantenimiento predictivo ha sido identificado como una palanca estratégica para elevar la competitividad de la industria colombiana [12]. Específicamente en el sector de las telecomunicaciones, esta tecnología se traduce en tres ventajas competitivas inmediatas:

- **Alta Disponibilidad:** Garantía de continuidad del servicio ante picos de demanda o fallos ambientales.
- **Calidad del Servicio (QoS):** Mejora de la experiencia del usuario final al reducir las interrupciones imprevistas.

- **Eficiencia Financiera:** Optimización del gasto operativo mediante la reducción de desplazamientos de emergencia y compras de suministros de último minuto.

Asimismo, la digitalización de la gestión de activos contribuye directamente a los objetivos de sostenibilidad corporativa. Al estimar con precisión el ciclo de vida de los equipos, se evitan reemplazos innecesarios y se reduce la generación de residuos electrónicos, alineando la operación con estándares de economía circular y responsabilidad ambiental.

4. Retos específicos para el contexto colombiano

A pesar de las oportunidades identificadas, la implementación de un modelo de mantenimiento inteligente en Colombia enfrenta desafíos estructurales que trascienden lo técnico. De acuerdo con el diagnóstico de transformación digital en el sector [9][10], los principales obstáculos se concentran en cuatro pilares:

- **Fragmentación de Sistemas:** Persiste una profunda brecha en la integración de plataformas (OSS/BSS, GIS y ERP), lo que impide un flujo de información bidireccional y coherente para el análisis avanzado.
- **Gobernanza y Calidad de Datos:** Existen limitaciones críticas en la captura y estandarización de datos, lo que genera errores en los modelos predictivos y reduce su precisión operativa.
- **Madurez Digital Heterogénea:** Se observa una diferencia notable en la adopción tecnológica entre los actores del sector; mientras los grandes operadores lideran pilotos de IA, otros segmentos aún dependen de procesos manuales y reactivos.
- **Déficit de Capacidades Analíticas:** Existe una necesidad imperativa de fortalecer el talento humano en gestión de datos, cerrando la brecha entre la ingeniería de telecomunicaciones tradicional y la ciencia de datos aplicada.

Si bien existen iniciativas empresariales orientadas a la transformación digital [9] el avance hacia modelos plenamente predictivos requiere una visión integral. El éxito no dependerá únicamente de la inversión en sensores o software, sino de una reingeniería organizacional que promueva una cultura basada en datos y un compromiso estratégico para superar la rigidez de los sistemas heredados.

Este análisis comparativo y contextual permite concluir que, mientras las tendencias internacionales avanzan hacia una automatización predictiva total, la realidad del sector de telecomunicaciones en Colombia aún se encuentra en una etapa de transición. El contraste de estos escenarios evidencia que la brecha no es solo tecnológica, sino de integración. Identificar estas oportunidades de mejora es el primer paso para diseñar una hoja de ruta que permita al país saltar de una operación reactiva a una estrategia de mantenimiento inteligente de clase mundial.

Conclusiones y recomendaciones

El análisis realizado permite concluir que Colombia cuenta con una infraestructura de telecomunicaciones en expansión, sin embargo, la transición hacia el mantenimiento inteligente es todavía un asunto pendiente. La persistencia de modelos reactivos y la fragmentación de la información técnica representan un costo de oportunidad significativo frente a mercados líderes como Brasil.

La revisión documental y el contraste con experiencias internacionales permiten identificar que la transformación digital en la gestión de activos no depende exclusivamente de la incorporación de nuevas tecnologías, sino de la integración estratégica de los datos. La interoperabilidad entre sistemas operativos, administrativos y geográficos (OSS, BSS, GIS y ERP) es el factor determinante para evolucionar hacia modelos de mantenimiento inteligentes.

En el contexto colombiano, el uso de Big Data, IoT y analítica predictiva representa una oportunidad para reducir fallas no planificadas y mejorar indicadores como el MTBF y el MTTR. Sin embargo, esta transición requiere superar barreras organizacionales y de talento humano. Finalmente, este trabajo confirma que la gestión predictiva es clave para mejorar la competitividad y la sostenibilidad operativa, optimizando el ciclo de vida de los equipos y reduciendo el impacto ambiental del sector.

Para transformar este escenario, se proponen las siguientes líneas de acción:

- **Unificación del Ecosistema de Datos:** Es necesario que las organizaciones consoliden arquitecturas de datos integradas que eliminen los silos entre los sistemas de información empresarial (como OSS, BSS, GIS y ERP). Solo mediante una fuente única de información será posible entrenar modelos predictivos que anticipen patrones de falla con alta precisión.
- **Priorización de Activos Críticos:** Se recomienda iniciar con proyectos piloto en las instalaciones más importantes y centros de datos. Concentrar los esfuerzos en estos puntos clave asegura mejores resultados económicos a corto plazo y una mejora inmediata en la estabilidad del servicio para los usuarios.
- **Fortalecimiento del talento humano:** La gestión inteligente requiere una cultura que confíe en los datos. Es necesario capacitar al personal técnico para que pueda utilizar herramientas analíticas, logrando que la ciencia de datos sea una parte cotidiana de las operaciones de la empresa.
- **Sostenibilidad como Eje Operativo:** El mantenimiento predictivo debe alinearse con los objetivos de eficiencia energética. Optimizar el ciclo de vida de los activos no solo reduce el costo operativo, sino que posiciona al sector de telecomunicaciones como un aliado de la sostenibilidad y la economía circular en el país.

En definitiva, el desafío para Colombia no es solo tecnológico, sino estratégico. La adopción de estas recomendaciones permitirá evolucionar hacia una gestión de activos robusta, capaz de convertir la eficiencia técnica en una ventaja competitiva sostenible a nivel regional.

Referencias

1. GSMA. (2023). *Mobile Economy Latin America 2023*. GSMA Intelligence. <https://www.gsma.com/mobileeconomy/latam/>
2. Inter-American Development Bank (IDB). (2021). Digital transformation and public employment: Challenges of skills and technology deployment in Latin America. IDB.
3. Departamento Nacional de Planeación. (2019). Documento CONPES 3975: Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial. Bogotá, Colombia.
4. Departamento Nacional de Planeación. (2018). Documento CONPES 3920: Política Nacional de Explotación de Datos (Big Data). Bogotá, Colombia.
5. International Organization for Standardization. (2014). ISO 55000: Asset management — Overview, principles and terminology. ISO.
6. World Economic Forum. (2016). Digital Transformation of Industries: Digital Enterprise. World Economic Forum.
7. ACI Journal. (2024). Mantenimiento predictivo basado en machine learning: Una revisión sistemática. <https://acijournal.cl/index.php/ojs/article/download/3/51>
8. Athenea. (2023). Mantenimiento preventivo y predictivo en centrales telefónicas. <https://athenea.autanabooks.com/index.php/revista/article/download/108/312/>
9. Claro Colombia. (2024). Colombia avanza con la transformación digital. <https://www.claro.com.co/institucional/transformacion-digital-colombia/>
10. Claro Colombia. (2025). Caso Claro transformación digital [Archivo PDF]. <https://es.scribd.com/document/549864770/Caso-Claro-transformacion-digital>
11. Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC). (2024). Estudio sobre el uso e impacto de la Inteligencia Artificial en telecomunicaciones. <https://www.crcm.gov.co/system/files/Biblioteca%20Virtual/Estudio%20sobre%20el%20uso%20e%20impacto%20de%20la%20Inteligencia%20A...>
12. La Nota Económica. (2024, 24 de junio). Mantenimiento predictivo: Una revolución para la industria colombiana. <https://lanotaeconomica.com.co/movidas-empresarial/mantenimiento-predictivo-una-revolucion-para-la-industria-colombiana/>
13. MDPI Applied Sciences. (2024). Inteligencia artificial para aplicaciones de mantenimiento predictivo. <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/2/898>
14. MinTIC/CRC. (2024). Estudio IA telecomunicaciones Colombia. <https://www.crcm.gov.co>

15. SciELO Colombia. (2022). Metodología para el mantenimiento predictivo de transformadores de distribución. *Ingeniería e Investigación*, 42(3), 202-215. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-750X2022000300202
16. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). (2024). Mantenimiento 4.0: Diseño de modelo predictivo para la industria. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/62826>
17. UNAD. (2021-2025). Plan de mantenimiento de servicios tecnológicos 2021-2025. <https://gpit.unad.edu.co/images/2024/Plan%20de%20mantenimiento%20de%20servicios%20tecnologicos%202021-2025.pdf>
18. Agência Nacional de Telecomunicações [Anatel]. (2025, 8 de enero). De sandbox a infraestructura crítica: la agenda regulatoria de las telecomunicaciones de Brasil. BNamericas.
19. DPL News. (2025, 15 de octubre). Anatel propone reconocer formalmente los Centros de Datos de Brasil como infraestructura crítica.
20. DPL News. (2026, 4 de febrero). Experiencia móvil en Brasil: TIM lidera en calidad, Vivo en velocidad y Claro en 5G.
21. Fortune Business Insights. (2024). AI in telecommunication market size, share & industry analysis (Análisis específico sobre mantenimiento predictivo en el mercado brasileño).
22. Opensignal. (2026). Brazil Mobile Network Experience Report: Analyzing the dominance of TIM, Vivo, and Claro.
23. Resende, M., et al. (2021). Leveraging AI for Predictive Maintenance with Minimizing Downtime in Telecommunications. *Journal of Industrial and Production Engineering*. (Incluye análisis de casos regionales).