

TRANSFORMACIÓN DIGITAL Y LIDERAZGO ADAPTATIVO EN EL SECTOR ELÉCTRICO: UNA VÍA REALISTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA Y MITIGAR EL ALZA DE TARIFAS

DIGITAL TRANSFORMATION AND ADAPTIVE LEADERSHIP IN THE POWER SECTOR: A REALISTIC PATH TO IMPROVE EFFICIENCY AND MITIGATE TARIFF INCREASES

Jhonn Alejandro Quintero Salazar¹

Resumen

En el contexto latinoamericano, las empresas del sector eléctrico enfrentan crecientes desafíos para cumplir con los estándares de calidad, sostenibilidad y eficiencia económica. Aunque la transformación digital se promueve como un camino inevitable, su implementación en este sector, con particular énfasis en empresas medianas, pequeñas y/o públicas, está llena de barreras estructurales, técnicas y culturales. En el momento actual, cuando la inteligencia artificial emerge como una tecnología transformadora capaz de reducir costos operativos de forma significativa, surge una oportunidad única para repensar los modelos de eficiencia sectorial. Este artículo explora cómo un enfoque de liderazgo adaptativo y estratégico puede permitir avanzar hacia procesos de digitalización realistas y graduales, con un impacto directo en la eficiencia operativa y, en consecuencia, en la disminución de las tarifas aplicadas al usuario final.

A partir de la experiencia profesional del autor en procesos de acompañamiento y modernización de empresas eléctricas colombianas, se identifican desafíos recurrentes, estrategias de digitalización viables y lecciones para liderar la transformación en organizaciones con baja madurez tecnológica. La adopción conjunta de hiperautomatización basada en RPA permite recortes de hasta un 30 % en costos operativos (McHugh, 2024), los modelos de inteligencia artificial para pronóstico horario de demanda han demostrado ahorros promedios del 8 % en costos de energía (Moosbrugger et al., 2025) y los programas de mantenimiento predictivo respaldados por IIoT reducen entre 35 % y 45 % la indisponibilidad no planificada, además de recortar 25 %-30 % los costos de mantenimiento (U.S. Department of Energy, 2010). Sin embargo, en el caso Colombiano, la

¹ Ingeniero Electricista (Universidad Tecnológica de Pereira), Especialista en Sistemas de Transmisión y Distribución de Energía (Universidad de los Andes), en proceso de finalización de la Maestría en Administración de Empresas (MBA) en la Universidad de Palermo. Director Ejecutivo en APEXIF – Consultoría y Tecnología para el Sector Energético. Estudiante del MBA – Facultad de Negocios, Universidad de Palermo. Correo electrónico: gerencia@apexif.com

metodología de remuneración de costos eficientes definida por la CREG aún no reconoce explícitamente estos beneficios como factores válidos de eficiencia dentro de las fórmulas tarifarias, lo que limita la captura plena del valor para el usuario final.

Lejos de las promesas de disruptión inmediata, se propone una visión pragmática: liderar desde la comprensión del contexto, construir capacidades internas y adoptar herramientas tecnológicas que generen mejoras concretas y medibles en los costos operativos. El artículo plantea que es necesario actualizar los marcos regulatorios para que los beneficios de la transformación digital se reflejen en tarifas más justas para los usuarios. En lugar de subsidios insostenibles, la vía estructural para lograr tarifas equitativas es la eficiencia operativa reconocida regulatoriamente, sostenida por tecnología, liderazgo adaptativo y modernización de las metodologías regulatorias de remuneración.

Palabras clave:

Español: transformación digital; liderazgo adaptativo; eficiencia operativa; tarifas eléctricas; sector eléctrico; sostenibilidad.

Inglés: digital transformation; adaptive leadership; operational efficiency; electricity tariffs; power sector; sustainability.

Introducción

La transformación digital ha adquirido un rol protagónico en múltiples sectores económicos a nivel global, acelerado significativamente por la pandemia de COVID-19 y el desarrollo de tecnologías emergentes como la inteligencia artificial generativa (McKinsey & Company, 2023). El sector eléctrico no ha sido ajeno a esta tendencia. Desde la generación hasta la comercialización, la incorporación de tecnologías como inteligencia artificial, automatización de procesos, big data, sistemas de monitoreo remoto y algoritmos de aprendizaje automático ha transformado de manera radical la manera en que se produce, se distribuye y se gestiona la energía eléctrica (International Energy Agency [IEA], 2024).

El auge de la inteligencia artificial, en particular, ha demostrado capacidades transformadoras en la optimización de redes eléctricas, predicción de demanda energética y mantenimiento predictivo de activos críticos (Accenture, 2023). Estudios recientes muestran que la implementación de IA en servicios públicos puede reducir costos operativos entre 15% y 25% mientras mejora la confiabilidad del servicio (PwC, 2024). Esta revolución tecnológica coincide con una creciente presión sobre las tarifas eléctricas en América Latina, donde los marcos regulatorios tradicionales luchan por adaptarse a las nuevas realidades digitales (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2024).

La urgencia de esta transformación se evidencia particularmente en Colombia, donde las tarifas eléctricas residenciales experimentaron el mayor incremento en 23 años entre 2021 y 2024, con un promedio anual del 15.3% que superó significativamente los períodos 2001-2010 (9%) y 2010-2020 (5.2%), alcanzando picos de hasta 28.5% anual en octubre de 2022 (Corficolombiana, 2024). Esta escalada tarifaria, que afecta especialmente a la Costa Atlántica con tarifas 18% superiores al promedio nacional, contrasta con la situación regional donde Colombia registró incrementos del 12.8% anual comparado con el 4.1% promedio de América Latina en el período postpandemia. Aunque las tarifas colombianas se mantienen en la media regional (superiores a Ecuador, Brasil y México, pero inferiores a Chile y Perú), la presión sobre los usuarios del mercado regulado —que representan 99.5% de los usuarios pero solo 65% del consumo— evidencia la necesidad urgente de eficiencias estructurales que vayan más allá de subsidios fiscales insostenibles. En este contexto, la transformación digital emerge no solo como una oportunidad de modernización, sino como una vía concreta para reducir los costos reales del sistema eléctrico y traducir estas eficiencias en beneficios tarifarios verificables para los usuarios finales.

1. Marco teórico

El marco teórico de este estudio se articula como un único cuerpo conceptual que combina las perspectivas de transformación digital en el sector eléctrico, hiperautomatización e inteligencia artificial, liderazgo adaptativo y eficiencia regulada, con el fin de analizar cómo estas dimensiones interrelacionadas influyen en las políticas tarifarias y en la mejora sostenible de la eficiencia operativa.

1.1 Transformación Digital en Organizaciones Públicas

La transformación digital, según Vial (2019), se define como “un proceso que tiene como objetivo mejorar una entidad activando cambios significativos en sus propiedades a través de combinaciones de tecnologías digitales” (p. 118). Sin embargo, en la actualidad, esta definición se ha expandido para incluir el potencial transformador de la inteligencia artificial y el aprendizaje automático como catalizadores de eficiencia operativa (McKinsey & Company, 2023).

En el contexto de servicios públicos regulados, la transformación digital adquiere características particulares debido a la naturaleza monopólica de muchas actividades y la necesidad de equilibrar eficiencia operativa con accesibilidad social (OECD, 2020). Estudios recientes de la International Energy Agency (IEA, 2024) demuestran que la implementación de soluciones digitales en el sector eléctrico puede reducir costos operativos entre 15% y 25%, mientras que la adopción específica de inteligencia artificial puede generar ahorros adicionales de hasta 12% en actividades de mantenimiento predictivo (Accenture, 2023).

La adopción tecnológica en organizaciones complejas, según la teoría de difusión de innovaciones de Rogers (2003), depende de cinco factores críticos: la ventaja relativa percibida, la compatibilidad con valores existentes, la complejidad de implementación, la posibilidad de experimentación y la observabilidad de resultados. En el sector eléctrico, estos factores se ven modulados por marcos regulatorios estrictos y objetivos múltiples que trascienden la eficiencia económica.

La digitalización en servicios públicos presenta características distintivas que la diferencian del sector privado: mayor complejidad regulatoria, múltiples stakeholders con intereses divergentes, y la necesidad de equilibrar eficiencia con equidad social (Borins, 2014). En América Latina, estas características se intensifican debido a limitaciones presupuestarias, brechas tecnológicas y marcos institucionales en desarrollo (IRENA, 2024).

1.1.2 Liderazgo Adaptativo y Cambio Organizacional

El liderazgo adaptativo, conceptualizado por Heifetz (1994) y desarrollado por Heifetz et al. (2009), se define como “la práctica de movilizar personas para enfrentar desafíos difíciles y prosperar” (p. 14). Este enfoque se diferencia del liderazgo técnico tradicional al centrarse en facilitar procesos de aprendizaje organizacional en contextos de incertidumbre (Northouse, 2019).

Kotter (1996) establece que el cambio organizacional efectivo requiere ocho etapas críticas, siendo el liderazgo el factor determinante para el éxito de la transformación. En organizaciones del sector público, esta complejidad se incrementa debido a múltiples stakeholders, marcos regulatorios rígidos y objetivos que van más allá de la eficiencia económica (Moore, 1995).

1.1.3 Teoría de la Regulación Económica y Eficiencia en el Sector Eléctrico Colombiano

Los marcos regulatorios en servicios públicos enfrentan el desafío fundamental de equilibrar eficiencia económica con objetivos sociales (Baldwin et al., 2012). Joskow (2007) describe la “regulación por incentivos basada en eficiencia” como un mecanismo para promover la reducción de costos operativos mientras se mantiene la calidad del servicio.

El marco regulatorio colombiano establece una clara diferenciación entre dos segmentos de usuarios con reglas y mecanismos de formación de precios distintos. El mercado regulado comprende usuarios residenciales y comerciales con demanda menor a 0.1 MW, quienes reciben el servicio a tarifas reguladas establecidas por la CREG mediante metodologías de costos eficientes. Estos usuarios representan aproximadamente 99.5% del total pero solo 65% del consumo nacional, constituyendo el segmento poblacional más vulnerable que requiere protección tarifaria. En contraste, el mercado no regulado incluye grandes usuarios industriales y comerciales con demanda superior a 0.1 MW, quienes pueden negociar libremente precios y condiciones, representando apenas 0.5% de los usuarios pero concentrando 35% del consumo nacional.

Para el mercado regulado, la CREG establece una estructura tarifaria integral compuesta por múltiples elementos. El componente de generación representa entre 45-55% del costo unitario final y se determina mediante contratos bilaterales de largo plazo, subastas de energía firme de la UPME, compras en bolsa de energía, contratos Derivex como instrumentos financieros de cobertura, entre otras formas de adquisición de energía. Los componentes de transmisión (8-12%) y distribución (25-35%) constituyen ingresos regulados que reconocen inversiones con tasa de rentabilidad regulada, costos eficientes de administración, operación y mantenimiento, pérdidas del sistema, e incentivos por cumplimiento de indicadores de calidad.

El componente de comercialización, que representa 12-18% de la tarifa, emplea una metodología de frontera estocástica particularmente relevante para este análisis. Este modelo establece costos eficientes mediante análisis económétrico que compara el desempeño de todas las empresas comercializadoras, considerando costos fijos por usuario, costos variables por energía facturada, y variables de control contextual. Sin embargo, la adopción desigual de tecnologías digitales está generando una distorsión crítica que afecta directamente a los usuarios finales: cuando algunas empresas por ejemplo implementan RPA para automatizar facturación (reduciendo costos hasta 70%), IA para optimizar gestión de cartera (mejorando recuperación 15-30%), o chatbots para atención 24/7 (reduciendo costos 40-60%), estas eficiencias no se reflejan en las metodologías regulatorias si la mayoría del sector opera tradicionalmente. El resultado es que los “costos eficientes” calculados por la CREG, basados en promedios sectoriales, ya no son realmente eficientes en el contexto tecnológico actual. Los usuarios del mercado regulado terminan pagando tarifas que reflejan una estructura de costos obsoleta, subsidiando efectivamente la resistencia del sector a la modernización tecnológica. Mientras una empresa puede prestar el mismo servicio de comercialización por un valor por factura mediante la automatización, digitalización e incorporación de inteligencia artificial en sus procesos, los usuarios continúan pagando tarifas calculadas

sobre “costos eficientes” de un valor superior, generando una sobrecarga tarifaria que podría evitarse con marcos regulatorios que reconozcan dinámicamente las capacidades tecnológicas contemporáneas.

La estructura tarifaria completa, según datos de la CREG (2023), incluye también pérdidas de energía (8-15%) y restricciones del sistema (2-4%), revelando que las actividades reguladas de distribución y comercialización representan conjuntamente entre 37-53% de la tarifa final. Esta proporción es precisamente donde las tecnologías digitales pueden generar mayor impacto tanto en distribución como en comercialización mediante automatización de procesos que reduce costos administrativos entre 25-40% (Lacity & Willcocks, 2016), sistemas inteligentes de detección de fraude basados en machine learning que pueden identificar pérdidas no técnicas con precisión del 85-95% comparado con el 60-70% de métodos tradicionales (Ahmad et al., 2017), y mantenimiento predictivo basado en IA que reduce costos de mantenimiento entre 20-40% mientras mejora la disponibilidad de activos en 10-20% (McKinsey & Company, 2023). En el ámbito comercial específicamente, la digitalización permite automatizar procesos de facturación y recaudo reduciendo errores en 80-95% y tiempos de procesamiento en 60-75% (Willcocks et al., 2015), implementar sistemas inteligentes de gestión de cartera que mejoran las tasas de recuperación entre 15-30% mediante segmentación predictiva y estrategias diferenciadas de cobranza (Kumar et al., 2019), desplegar chatbots que reducen costos de call center entre 40-60% mientras mejoran tiempos de respuesta de 8 minutos a 30 segundos (Radziwill & Benton, 2017), y utilizar plataformas CRM integradas que optimizan la gestión de reclamos reduciendo tiempos de resolución en 45-65% (Chen et al., 2021). Adicionalmente, las tecnologías de monitoreo en tiempo real con IoT y analítica avanzada pueden mejorar indicadores SAIDI hasta en 15% y SAIFI hasta en 25% mediante detección temprana de fallas y optimización de tiempos de respuesta (Tuballa & Abundo, 2016; International Energy Agency, 2024).

La teoría de costos de transacción de Williamson (1985) sugiere que la digitalización puede reducir significativamente los costos de coordinación, información y control en organizaciones complejas. En el sector eléctrico, donde la multiplicidad de procesos regulatorios genera altos costos administrativos, la automatización puede generar ahorros de hasta 30% en funciones específicas (PwC, 2024). Sin embargo, el reconocimiento regulatorio de estas eficiencias representa un desafío crítico, ya que los modelos tarifarios basados en promedios históricos no reflejan adecuadamente el potencial de las tecnologías emergentes, creando un desalineamiento entre la capacidad real del sector y su reconocimiento tarifario (IRENA, 2024). Esta situación es particularmente relevante considerando que las mejoras tecnológicas en actividades reguladas podrían traducirse en beneficios directos para los usuarios del mercado regulado si las metodologías de la CREG incorporaran dinámicamente estos avances.

1.1.4 Innovación en Organizaciones Públicas: Desafíos Institucionales en el Contexto Colombiano

Según Moore (1995), las organizaciones públicas enfrentan desafíos únicos para la innovación debido a la necesidad de crear “valor público” que equilibre eficiencia,

legitimidad y apoyo político. La transformación digital en este contexto debe considerarse no solo desde la perspectiva de eficiencia operativa, sino también desde su capacidad para mejorar la transparencia, la rendición de cuentas y la calidad del servicio público.

En Colombia, estos desafíos se magnifican por características institucionales específicas que dificultan la adopción y sostenibilidad de procesos de innovación tecnológica en organizaciones públicas del sector eléctrico. La alta rotación de directivos públicos, motivada por ciclos políticos de cuatro años, genera discontinuidad en estrategias de transformación digital que requieren períodos de implementación de 12 a 24 meses y reconocimiento regulatorio de 3 a 5 años (González-González & Jiménez-Ruiz, 2019). Esta inestabilidad directiva es particularmente problemática en empresas eléctricas públicas y mixtas, donde los cambios de gobierno municipal, departamental o nacional frecuentemente resultan en reemplazos gerenciales que interrumpen proyectos de modernización tecnológica con altos costos de oportunidad.

La corrupción sistémica constituye otro factor limitante estructural para la innovación en organizaciones públicas del sector. Según el Índice de Percepción de Corrupción 2023 de Transparencia Internacional, Colombia ocupa el puesto 91 de 180 países, reflejando niveles significativos de corrupción que impactan directamente los procesos de contratación tecnológica y modernización digital (Transparency International, 2023). Los procesos de adquisición de tecnología se ven distorsionados por prácticas como direccionamiento de licitaciones, sobrecostos en contratos de software, y selección de proveedores basada en criterios no técnicos, generando desconfianza organizacional hacia procesos de transformación digital y perpetuando resistencias culturales al cambio tecnológico.

La politización de cargos técnicos representa una barrera adicional crítica para la sostenibilidad de iniciativas de digitalización. El sistema de “cuotas políticas” en empresas públicas frecuentemente resulta en el nombramiento de personal sin competencias técnicas en posiciones clave para la gestión de procesos digitales, creando cuellos de botella operativos que impiden la implementación efectiva de soluciones como RPA, sistemas de gestión de cartera basados en IA, o plataformas integradas de mantenimiento predictivo (Maldonado et al., 2021). Esta situación es particularmente evidente en empresas eléctricas oficiales de municipios pequeños y medianos, donde la capacidad técnica instalada es limitada y la presión política por nombramientos clientelistas impide la construcción de equipos técnicos sólidos.

Los altos niveles de burocracia y rigidez procedural configuran otro obstáculo estructural para la innovación organizacional. Los procesos de contratación pública, regulados por la Ley 80 de 1993 y la Ley 1150 de 2007, establecen procedimientos extensos y rígidos que dificultan la adquisición ágil de tecnologías emergentes, especialmente considerando que las soluciones de inteligencia artificial y automatización requieren procesos iterativos de implementación y ajuste que no se alinean fácilmente con cronogramas de contratación estatal tradicionales (García-Sánchez et al., 2020). La ausencia de marcos normativos específicos para contratación de servicios en la nube, licenciamiento de software de IA, y modelos SaaS genera incertidumbre jurídica que inhibe la adopción de tecnologías modernas.

La fragmentación institucional y falta de coordinación interinstitucional representa una barrera sistémica adicional. En Colombia, la multiplicidad de entidades con competencias sobre el sector eléctrico (CREG, SSPD, MME, CNO, UPME, IDEAM) genera requerimientos regulatorios desarticulados que consumen recursos administrativos significativos sin generar valor operativo, precisamente en procesos que podrían automatizarse mediante tecnologías digitales (Rodríguez-Pose & Ezcurra, 2023). La ausencia de estándares unificados de reporte y la falta de interoperabilidad entre sistemas estatales obliga a las empresas a adaptar información a múltiples formatos, perpetuando inefficiencias administrativas que la digitalización podría resolver.

Los limitados recursos financieros destinados a modernización tecnológica en entidades públicas constituyen un factor restrictivo adicional. Los presupuestos de inversión en empresas eléctricas oficiales frecuentemente priorizan obras de infraestructura física sobre innovación tecnológica, reflejando una mentalidad tradicional que no reconoce el potencial transformador de la digitalización para reducir costos operativos y mejorar la eficiencia del servicio (Banco Mundial, 2022). Esta situación se agrava por la dificultad de justificar inversiones en tecnología intangible ante organismos de control que privilegian gastos en activos físicos sobre inversiones en capacidades digitales.

La resistencia cultural al cambio tecnológico en organizaciones públicas se ve amplificada por la estabilidad laboral del régimen estatutario, que reduce incentivos individuales para la adopción de nuevas competencias digitales y genera temores infundados sobre automatización de funciones administrativas (López-Rodríguez et al., 2022). Esta resistencia es particularmente evidente en procesos como la implementación de RPA para reportes regulatorios o sistemas automatizados de gestión de cartera, donde el personal administrativo percibe amenazas a su estabilidad laboral sin comprender las oportunidades de reorientación hacia actividades de mayor valor agregado.

La literatura sobre innovación pública (Borins, 2014) sugiere que las tecnologías digitales pueden actuar como catalizadores de cambio organizacional, pero solo cuando se acompañan de modificaciones en estructuras, procesos y cultura organizacional. En el contexto colombiano, esto requiere abordar simultáneamente las distorsiones institucionales que limitan la capacidad innovadora del sector público: fortalecer la meritocracia en nombramientos técnicos, establecer marcos normativos específicos para contratación tecnológica, promover la interoperabilidad entre entidades estatales, y desarrollar incentivos específicos para la adopción de tecnologías digitales en organizaciones públicas del sector eléctrico. Sin estos cambios institucionales, las iniciativas de transformación digital en empresas eléctricas oficiales permanecerán como esfuerzos aislados sin impacto sistémico en la eficiencia sectorial.

1.1.5 Modelo Conceptual Integrado

La integración de estos marcos teóricos permite proponer un modelo sistemático donde las tecnologías emergentes actúan como catalizadores de transformación en el sector eléctrico colombiano, abordando simultáneamente variables tecnológicas, organizacionales y regulatorias.

El modelo establece que la transformación digital basada en IA constituye el motor tecnológico principal, materializada en automatización de procesos (RPA), algoritmos predictivos para gestión energética, y sistemas inteligentes de mantenimiento, con potencial de reducción de costos operativos del 15-40% en actividades reguladas que representan 37-53% de la tarifa final.

El liderazgo adaptativo funciona como variable mediadora esencial, requiriendo competencias específicas para navegar la complejidad institucional colombiana: gestión de discontinuidad directiva por ciclos políticos, articulación de entidades regulatorias fragmentadas, y traducción de beneficios tecnológicos en narrativas cuantificables para revisiones metodológicas.

Las barreras institucionales del contexto colombiano operan como variables moderadoras negativas: alta rotación directiva, fragmentación regulatoria, limitaciones presupuestarias, y resistencia cultural al cambio amplificada por el régimen estatutario.

La eficiencia operativa cuantificable representa la variable dependiente intermedia, medida por reducción de costos AOM, mejora en indicadores SAIDI/SAIFI (15-25%), optimización de pérdidas (precisión 85-95% vs 60-70% tradicional), y automatización de procesos regulatorios (hasta 70% de costos administrativos).

El impacto tarifario reconocido regulatoriamente constituye la variable dependiente final, requiriendo actualización de metodologías CREG que reconozcan dinámicamente las eficiencias tecnológicas verificables.

Hipótesis Central: La transformación digital basada en IA, liderada adaptativamente y documentada meticulosamente, puede generar eficiencias operativas sostenibles que se traduzcan en beneficios tarifarios verificables mediante modernización de metodologías regulatorias, construyendo un modelo de eficiencia estructural que reduzca tarifas por reducción real de costos del sistema eléctrico en lugar de subsidios insostenibles.

En América Latina, sin embargo, este proceso de transformación avanza de manera desigual. Si bien algunas grandes empresas han emprendido caminos de modernización tecnológica, una porción importante del sector, con especial atención en operadores medianos, pequeños y empresas oficiales, enfrenta una serie de barreras estructurales que limitan el alcance real de estos avances (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2023). Estas organizaciones, muchas de ellas localizadas en regiones con baja penetración tecnológica, se caracterizan por contar con recursos humanos y financieros limitados, infraestructuras heredadas, y una cultura organizacional que aún opera bajo paradigmas tradicionales (Katz, 2015).

El caso colombiano resulta de particular interés ilustrativo. Según Baldwin et al. (2012), los marcos regulatorios en servicios públicos enfrentan el desafío de equilibrar eficiencia económica con objetivos sociales, lo cual se evidencia claramente en el sector eléctrico colombiano. Las empresas del sector eléctrico deben encargarse de la operación y el mantenimiento de sus redes y activos, al tiempo que cumplen con exigencias regulatorias

en materia de calidad del servicio, transparencia en la gestión y aplicación del marco tarifario (Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG], 2018). Además, sus ingresos están determinados por estudios de costos eficientes definidos por el regulador, siguiendo lo que Joskow (2007) denomina “regulación por incentivos basada en eficiencia”.

Paralelamente, deben responder a requerimientos de reporte y seguimiento ante múltiples entidades: la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y el Ministerio de Minas y Energía (MME). La falta de interoperabilidad entre estos organismos genera una carga administrativa considerable, ya que las empresas deben recopilar, procesar y presentar información técnica, operativa, financiera y comercial en diversos formatos y plataformas, sin mecanismos unificados ni automatización efectiva que facilite su cumplimiento (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios [SSPD], 2022).

En este contexto, la transformación digital no puede ser planteada como una meta idealizada, sino como una estrategia progresiva, realista y orientada a resultados concretos. Incorporar tecnología en entornos con baja madurez digital exige priorizar procesos clave, formar capacidades internas, y adoptar herramientas simples pero efectivas, como automatización de reportes, centralización de bases de datos, visualización de indicadores o análisis básico de datos operativos.

A pesar de estas limitaciones, los beneficios de la digitalización en el sector eléctrico son evidentes. En la operación, permite mejorar el seguimiento de activos, prevenir fallas, optimizar el mantenimiento y aumentar la continuidad del servicio. En lo comercial, permite segmentar mejor a los usuarios, ofrecer atención personalizada y reducir pérdidas no técnicas. Y en lo regulatorio, permite cumplir de manera más eficiente con los estándares exigidos, evitando sanciones y reprocesos.

Pero quizás el impacto más estratégico de la digitalización esté en el terreno tarifario. Las tarifas eléctricas en Colombia y otros países de la región se determinan a partir de modelos regulatorios que definen los llamados “costos eficientes” para cada actividad (generación, transmisión, distribución, comercialización). Estos costos, a su vez, se estiman a partir de promedios históricos u observados en empresas comparables. Si las empresas que avanzan en digitalización logran reducir sus costos operativos de manera sostenible, entonces los modelos tarifarios deberían actualizarse para reflejar ese nuevo estándar de eficiencia. Es decir, los beneficios tecnológicos deben ser trasladados también al usuario final.

Sin embargo, esto requiere un cambio de visión en el rol del regulador. Hoy en día, los modelos tarifarios no están diseñados para incorporar de forma dinámica los avances tecnológicos. No reconocen de manera explícita el uso de automatización o inteligencia artificial como fuentes válidas de eficiencia. Tampoco generan incentivos diferenciados para las empresas que innovan. Como resultado, se corre el riesgo de que la eficiencia ganada a través de la digitalización beneficie solo a la empresa (mejorando su margen), sin generar una baja estructural en las tarifas.

En este sentido, el presente artículo propone una mirada sistémica: avanzar en la transformación digital como vía para mejorar la eficiencia, pero también para reconfigurar la política tarifaria. Más allá de subsidios temporales o promesas electorales, se plantea que la vía estructural para reducir las tarifas es disminuir los costos reales del sistema a través de la tecnología, con un liderazgo adaptativo que sepa conducir este proceso en entornos complejos y con múltiples actores.

2. Diagnóstico: brechas operativas, regulatorias y estructurales en el sector eléctrico

La implementación efectiva de la transformación digital en el sector eléctrico colombiano no parte de una hoja en blanco, sino desde una realidad compleja caracterizada por rezagos tecnológicos estructurales, desarticulación regulatoria, y presiones tarifarias crecientes que evidencian la urgencia de una modernización sistémica. El contexto actual revela una paradoja crítica: mientras las tecnologías emergentes como la inteligencia artificial pueden generar reducciones de costos operativos entre 15% y 25% (IEA, 2024), el sector enfrenta simultáneamente el mayor incremento tarifario en 23 años, con usuarios del mercado regulado pagando incrementos promedio del 15.3% anual entre 2021-2024 que superan significativamente el 4.1% promedio regional latinoamericano (Corficolombiana, 2024).

2.1 Brechas Operativas: Fragmentación Tecnológica y Desconexión Sistémica

La fragmentación de procesos operativos constituye la primera barrera estructural para la adopción tecnológica. Estudios sectoriales muestran que aproximadamente 70% de las empresas eléctricas medianas y pequeñas en Colombia aún dependen de hojas de cálculo, reportes manuales y procesos administrativos no integrados para gestionar actividades críticas que representan entre 37-53% de la tarifa final del usuario (actividades reguladas de distribución y comercialización) (SSPD, 2022). Esta situación es particularmente problemática considerando que la automatización mediante RPA puede reducir hasta 70% los costos de procesos administrativos rutinarios con retornos de inversión típicos de 6 a 12 meses (PwC, 2024), pero su implementación se ve obstaculizada por la desconexión entre sistemas internos heredados.

La proliferación de aplicativos digitales que no se comunican entre sí representa una segunda barrera significativa que genera lo que la literatura denomina “islas de información” (Vial, 2019). En muchas empresas se han implementado soluciones tecnológicas parciales sin una estrategia integradora, creando duplicidad de tareas, redundancias operativas y sobrecarga administrativa que incrementa paradójicamente los costos AOM reconocidos en las metodologías CREG. Esta situación cobra especial relevancia cuando se analiza desde la perspectiva del componente de comercialización (12-18% de la tarifa final) que emplea metodología de frontera estocástica para determinar costos eficientes, donde la falta de interoperabilidad impide capitalizar las eficiencias

que la digitalización podría aportar en procesos de facturación (reducción de errores del 80-95%), recaudo automatizado, atención al cliente mediante chatbots (reducción de costos del 40-60%), y gestión inteligente de cartera (mejora de recuperación del 15-30%) (Kumar et al., 2019; Radziwill & Benton, 2017).

Las deficiencias en capacidades humanas representan una tercera barrera operativa crítica. Según análisis sectoriales, existe una brecha significativa en competencias digitales que limita la adopción efectiva de tecnologías como inteligencia artificial para gestión de cartera, sistemas predictivos de mantenimiento (que pueden reducir costos entre 20-40% según McKinsey & Company, 2023), o plataformas integradas de analítica avanzada para optimización de indicadores SAIDI y SAIFI (con potencial de mejora del 15% y 25% respectivamente mediante IoT y detección temprana de fallas) (Tuballa & Abundo, 2016). Sin estrategias estructuradas de formación y acompañamiento organizacional, la resistencia cultural al cambio tecnológico perpetúa ineficiencias operativas que terminan siendo reconocidas como “costos eficientes” en los modelos regulatorios, generando una sobrecarga tarifaria que los usuarios del mercado regulado subsidian involuntariamente.

2.2 Brechas Regulatorias: Desactualización Metodológica y Distorsiones de Reconocimiento

El desajuste entre marcos regulatorios y realidad tecnológica constituye quizás la barrera más estructural para la transformación digital sectorial. Las metodologías tarifarias de la CREG continúan operando bajo lógicas históricas, utilizando datos del período 2013-2017 para distribución (Resolución 015 de 2018) y 2013 para comercialización (Resolución 180 y 191 de 2014), ignorando sistemáticamente tanto el potencial de ahorro derivado de tecnologías emergentes como los costos reales que enfrentan empresas que no han podido modernizar sus operaciones (CREG, 2018, 2019).

Esta desactualización genera una distorsión crítica en la aplicación de modelos de frontera estocástica para comercialización: cuando algunas empresas implementan RPA para automatizar facturación (reduciendo costos hasta 70%), IA para optimizar gestión de cartera (mejorando recuperación 15-30%), o chatbots para atención 24/7 (reduciendo costos 40-60%), estas eficiencias no se reflejan dinámicamente en las metodologías regulatorias si la mayoría del sector opera tradicionalmente. El resultado es que los “costos eficientes” calculados por la CREG, basados en análisis econométrico de promedios sectoriales, ya no son realmente eficientes en el contexto tecnológico actual. Los usuarios del mercado regulado terminan pagando tarifas que reflejan una estructura de costos obsoleta

La fragmentación regulatoria adiciona una segunda dimensión problemática. En Colombia, las empresas deben responder simultáneamente ante múltiples entidades con requerimientos específicos pero desarticulados: reportes técnicos y financieros al SUI administrado por la SSPD, cumplimiento de estándares de calidad definidos por la CREG, obligaciones operativas exigidas por el MME, y coordinación con CNO, UPME e IDEAM según actividades específicas (Rodríguez-Pose & Ezcurra, 2023).

Esta multiplicidad genera redundancias que consumen recursos técnicos valiosos, precisamente en actividades administrativas donde la automatización podría generar mayores eficiencias mediante interoperabilidad entre sistemas estatales. La ausencia de estándares unificados de reporte obliga a cada empresa a adaptar información a múltiples formatos, perpetuando hasta 70% de costos administrativos de cumplimiento regulatorio que podrían automatizarse con plataformas integradas (IRENA, 2024).

Se configura así una trampa regulatoria estructural: las empresas que no logran digitalizarse incurren en altos costos reconocidos como “eficientes” por modelos regulatorios basados en promedios históricos, perpetuando ineficiencias tarifarias, mientras que las empresas que adoptan IA y RPA pueden aparecer como “ineficientes” al alejarse del promedio sectorial en análisis econométricos comparativos, desincentivando la inversión tecnológica precisamente cuando el sector más la necesita para enfrentar presiones tarifarias crecientes.

2.3 Brechas Institucionales: Distorsiones del Contexto Colombiano

Las características institucionales específicas del contexto colombiano magnifican las barreras operativas y regulatorias, creando obstáculos adicionales para la adopción sostenible de tecnologías digitales en el sector eléctrico. La alta rotación de directivos públicos, motivada por ciclos políticos de cuatro años, genera discontinuidad sistemática en estrategias de transformación digital que requieren períodos de implementación de 12 a 24 meses para materializar eficiencias operativas y reconocimiento regulatorio de 3 a 5 años según cronogramas de revisión de la CREG (González-González & Jiménez-Ruiz, 2019). Esta inestabilidad directiva es particularmente problemática en empresas eléctricas públicas y mixtas, donde cambios de gobierno municipal, departamental o nacional frecuentemente resultan en reemplazos gerenciales que interrumpen proyectos de modernización tecnológica con altos costos de oportunidad.

La corrupción sistémica constituye una segunda distorsión institucional estructural. Colombia ocupa el puesto 91 de 180 países en el Índice de Percepción de Corrupción 2023, reflejando niveles significativos de corrupción que impactan directamente los procesos de contratación tecnológica y modernización digital (Transparency International, 2023). Los procesos de adquisición de tecnología se ven distorsionados por prácticas como direccionamiento de licitaciones, sobrecostos en contratos de software, y selección de proveedores basada en criterios no técnicos, generando desconfianza organizacional hacia procesos de transformación digital y perpetuando resistencias culturales al cambio tecnológico que limitan la materialización de eficiencias operativas cuantificables.

La politización de cargos técnicos representa una tercera barrera institucional crítica. El sistema de “cuotas políticas” en empresas públicas frecuentemente resulta en el nombramiento de personal sin competencias técnicas en posiciones clave para la gestión de procesos digitales, creando cuellos de botella operativos que impiden la implementación efectiva de soluciones como RPA para reportes regulatorios, sistemas de gestión de cartera

basados en IA, o plataformas integradas de mantenimiento predictivo (Maldonado et al., 2021). Esta situación es particularmente evidente en empresas eléctricas oficiales de municipios pequeños y medianos, donde la capacidad técnica instalada es limitada y la presión política por nombramientos clientelistas impide la construcción de equipos técnicos sólidos capaces de liderar procesos de modernización.

Los altos niveles de burocracia procedural configuran una cuarta distorsión que obstaculiza la adopción ágil de tecnologías emergentes. Los procesos de contratación pública, regulados por marcos normativos rígidos, establecen procedimientos extensos que dificultan la adquisición de soluciones de inteligencia artificial y automatización que requieren implementación iterativa y ajuste dinámico (García-Sánchez et al., 2020). La ausencia de marcos normativos específicos para contratación de servicios en la nube, licenciamiento de software de IA, y modelos SaaS genera incertidumbre jurídica que inhibe la adopción de tecnologías modernas necesarias para materializar las eficiencias operativas identificadas.

2.4 Impacto Sistémico: La Desconexión entre Potencial Tecnológico y Reconocimiento Tarifario

La interacción de estas brechas operativas, regulatorias e institucionales genera un bloqueo sistémico que impide capitalizar el potencial transformador de las tecnologías digitales para reducir estructuralmente las tarifas eléctricas. Mientras estudios internacionales demuestran que la implementación integral de IA en servicios públicos puede reducir costos operativos entre 15% y 25% (IEA, 2024), y específicamente en actividades de distribución y comercialización mediante automatización de procesos (reducción de costos administrativos 25-40%), sistemas inteligentes de detección de fraude (precisión 85-95% vs 60-70% métodos tradicionales), mantenimiento predictivo (reducción de costos 20-40%), y optimización de indicadores de calidad (mejora SAIDI 15%, SAIFI 25%), estas eficiencias no se traducen en beneficios tarifarios para usuarios del mercado regulado debido a la desactualización de las metodologías CREG (Ahmad et al., 2017; McKinsey & Company, 2023; Tuballa & Abundo, 2016).

El resultado es una paradoja sectorial crítica: Colombia experimenta simultáneamente las mayores presiones tarifarias en 23 años (incrementos del 15.3% anual vs 4.1% promedio regional) y el mayor potencial histórico de reducción de costos mediante tecnologías emergentes, pero la desarticulación entre capacidades tecnológicas disponibles y marcos regulatorios de reconocimiento impide materializar eficiencias estructurales que podrían traducirse en beneficios tarifarios concretos para los 99.5% de usuarios del mercado regulado que requieren protección por su vulnerabilidad socioeconómica.

Esta desconexión sistémica entre operación, regulación y tecnología bloquea el avance hacia un modelo de eficiencia estructural sectorial. Mientras las empresas enfrentan obstáculos múltiples para innovar (fragmentación operativa, desactualización regulatoria, distorsiones institucionales), los usuarios finales continúan subsidiando

involuntariamente una estructura de costos obsoleta cuando tecnologías contemporáneas pueden prestar servicios equivalentes por costos sustancialmente menores. La superación de estas barreras requiere una mirada sistémica que articule simultáneamente transformación tecnológica empresarial, modernización metodológica regulatoria, y reformas institucionales específicas del contexto colombiano, priorizando la actualización dinámica de las metodologías CREG para incorporar reconocimiento tarifario de eficiencias digitales verificables.

3. Estrategias realistas de transformación digital en el sector eléctrico

La implementación efectiva de transformación digital en el sector eléctrico demanda un enfoque pragmático que reconozca las limitaciones presupuestarias, capacidades desiguales, estructuras organizacionales rígidas y alta exposición regulatoria que caracterizan el contexto latinoamericano (Banco Interamericano de Desarrollo [BID], 2023). En lugar de promover disruptiones tecnológicas irrealistas o “saltos cuánticos” en digitalización, las organizaciones requieren estrategias graduales, focalizadas en procesos críticos y fundamentadas en tecnologías accesibles, escalables y sostenibles que generen valor reconocible tanto operativa como regulatoriamente.

El marco conceptual propuesto por Rogers (2003) para la difusión de innovaciones resulta particularmente relevante en este contexto, ya que la adopción tecnológica exitosa depende de cinco factores críticos: ventaja relativa percibida, compatibilidad con valores organizacionales existentes, complejidad de implementación, posibilidad de experimentación controlada, y observabilidad de resultados cuantificables. En el sector eléctrico regulado, estos factores se ven amplificados por la necesidad de generar evidencia técnica robusta para futuras revisiones metodológicas de la CREG y documentar mejoras operativas que puedan traducirse en reconocimiento tarifario.

3.1 Automatización de Procesos Administrativos mediante RPA

La primera línea estratégica prioritaria consiste en automatizar tareas repetitivas y de alto costo operativo mediante soluciones de RPA (Robotic Process Automation), tecnología que según Willcocks et al. (2015) permite automatizar procesos basados en reglas mediante software que simula la interacción humana con sistemas digitales.

Las empresas eléctricas latinoamericanas destinan proporcionalmente gran parte de su recurso humano técnico a tareas administrativas agrupables en cinco categorías principales que constituyen candidatos ideales para automatización mediante RPA:

- Reportes regulatorios: Consolidación y transmisión de información a múltiples entidades estatales (SSPD, CREG, MME) con requerimientos específicos pero desarticulados.
- Procesos comerciales: Facturación, recaudo, gestión de cartera, procesamiento de PQR, y administración de cortes/reconexiones según estratos socioeconómicos.

- Cumplimiento normativo: Informes financieros, procesos disciplinarios, y administración de programas sociales exigidos por normatividad sectorial.
- Gestión operativa: Control de pérdidas técnicas y no técnicas, mantenimiento de activos, y coordinación de contratos energéticos.
- Actividades transversales: Coordinación interinstitucional y procesos administrativos que requieren traducción de información entre múltiples formatos y plataformas.

Estas funciones presentan alta frecuencia, naturaleza rutinaria, y tendencia al error humano, características que las convierten en objetivos prioritarios para automatización (Lacity & Willcocks, 2016).

La implementación de robots de software para extracción automática de datos desde sistemas comerciales, técnicos y financieros, con generación automática de reportes en formatos específicos requeridos por organismos regulatorios, cobra especial relevancia cuando se analiza desde la perspectiva de las metodologías de frontera estocástica empleadas por la CREG para comercialización, donde la reducción de costos administrativos por usuario puede impactar directamente los “costos eficientes” reconocidos para el cálculo tarifario.

La experiencia internacional en implementación de RPA en servicios públicos demuestra beneficios adicionales como mejora en la calidad y consistencia de reportes regulatorios, reducción de tiempos de respuesta a requerimientos de entes de control, y liberación de personal técnico para actividades de mayor valor agregado como análisis predictivo y gestión estratégica de activos (Deloitte, 2020). Para empresas que operan bajo marcos de regulación por incentivos, estos beneficios pueden traducirse en mejores calificaciones de desempeño y mayor eficiencia reconocida en futuras revisiones tarifarias.

3.2 Inteligencia Artificial para Optimización de Gestión Energética y Comercial

La segunda estrategia fundamental involucra la aplicación de algoritmos de inteligencia artificial para optimización de decisiones críticas en gestión energética y comercial, áreas donde las decisiones subóptimas generan costos significativos que inevitablemente se trasladan a las tarifas.

En el contexto específico del sector eléctrico colombiano, donde las empresas comercializadoras deben optimizar decisiones de contratación energética considerando contratos bilaterales de largo plazo, compras en bolsa de energía, y instrumentos financieros Derivex, la mejora en precisión predictiva puede generar ahorros sustanciales en el costo unitario de energía. Los modelos de machine learning permiten incorporar variables exógenas complejas como patrones meteorológicos, días festivos, comportamiento socioeconómico regional, y tarifas horarias diferenciadas para generar escenarios más precisos para la toma de decisiones estratégicas (Kumar et al., 2019).

Esta optimización predictiva puede traducirse en compras más eficientes, menor exposición al riesgo de volatilidad del mercado spot, y mejor cumplimiento de obligaciones contractuales que eviten penalizaciones regulatorias (IRENA, 2024). Considerando que el componente de generación representa entre 45-55% del costo unitario final para usuarios del mercado regulado, las mejoras en eficiencia de contratación energética pueden generar impactos significativos en la estructura tarifaria.

En el ámbito comercial, la implementación de sistemas inteligentes de gestión de cartera basados en algoritmos de machine learning permite segmentación predictiva de usuarios según patrones de consumo, comportamiento de pago, y probabilidad de morosidad, facilitando estrategias diferenciadas de cobranza. Esta mejora resulta particularmente relevante en el contexto de las metodologías de frontera estocástica para comercialización, donde los costos de gestión de cartera y pérdidas por cuentas incobrables constituyen variables específicas en el cálculo de costos eficientes.

3.3 Analítica Avanzada para Mejoramiento de Indicadores de Calidad del Servicio

La tercera línea estratégica se enfoca en el mejoramiento de indicadores de calidad del servicio mediante analítica avanzada e integración de datos técnicos dispersos, aprovechando el Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de monitoreo en tiempo real para optimizar la gestión de activos de distribución.

Las empresas distribuidoras enfrentan el desafío de gestionar información sobre fallas, mantenimientos, interrupciones y reclamos que tradicionalmente se encuentra dispersa entre diferentes áreas operativas sin interoperabilidad efectiva. La unificación de esta información en tableros de control dinámicos con capacidades de inteligencia artificial permite no solo monitoreo en tiempo real de indicadores críticos, sino también predicción de patrones de fallas y optimización proactiva de intervenciones preventivas (Chen et al., 2021).

La implementación de mantenimiento predictivo basado en IA, fundamentado en algoritmos que analizan datos históricos de desempeño de activos, condiciones ambientales, y patrones de carga, cobra especial relevancia considerando que los costos de administración, operación y mantenimiento (AOM) constituyen componentes específicos reconocidos en las metodologías CREG para actividades de distribución, donde eficiencias demostradas pueden traducirse en reconocimiento tarifario directo.

Los sistemas inteligentes de detección de pérdidas no técnicas mediante machine learning generan reducciones significativas en pérdidas comerciales que impactan directamente la eficiencia operativa reconocida regulatoriamente (Ahmad et al., 2017). Esta mejora resulta crítica considerando que las pérdidas de energía representan entre 8-15% de la tarifa final y constituyen un factor directo en el cálculo de costos eficientes para actividades reguladas.

3.4 Modernización de Gestión Comercial y Atención al Usuario con Tecnologías Emergentes

La cuarta dimensión estratégica abarca la modernización integral de procesos comerciales mediante tecnologías integradas clave: arquitecturas de APIs para interoperabilidad entre sistemas SUI, ERP, CRM y regulatorios; agentes de inteligencia artificial para procesamiento automatizado de PQR y gestión predictiva de cartera; interfaces digitales para democratización del acceso a servicios; sistemas híbridos que combinan automatización con supervisión humana especializada; y chatbots con facturación digital para optimización de atención al cliente.

Esta integración tecnológica permite modernizar la gestión comercial completa, desde la captura automatizada de datos hasta la prestación de servicios personalizados 24/7, mejorando la experiencia del usuario mientras reduce costos operativos reconocidos en las metodologías de frontera estocástica. La segmentación inteligente resultante facilita estrategias diferenciadas para recuperación de cartera, programas de eficiencia energética, y adopción de tarifas horarias que beneficien la sostenibilidad operativa del sistema (Kumar et al., 2019).

3.5 Optimización de Gestión de Activos mediante Sistemas Georreferenciados

La quinta línea estratégica se centra en la modernización de gestión de activos e inversiones mediante sistemas de información geográfica (GIS) integrados con analítica predictiva, facilitando modelos más robustos de planificación de reposiciones, priorización de inversiones, y seguimiento de ejecución de obras. Estos sistemas, combinados con datos históricos de fallas, comportamiento de materiales, y análisis de pérdidas técnicas, permiten asignación más eficiente de recursos bajo criterios técnicos, económicos y sociales integrados.

La implementación de gemelos digitales para activos críticos de distribución, mediante sensores IoT y modelamiento matemático avanzado, permite simulación de escenarios operativos y optimización predictiva de decisiones de inversión con retornos medibles en mejora de indicadores de calidad y reducción de costos operativos (International Energy Agency, 2024). Esta aproximación resulta particularmente valiosa para empresas distribuidoras que deben justificar técnicamente sus planes de inversión ante la CREG para reconocimiento en las metodologías tarifarias.

Los sistemas GIS integrados con analítica avanzada pueden identificar patrones espaciales de fallas, optimizar rutas de cuadrillas de mantenimiento, y priorizar reposición de activos según criterios multiobjetivo que consideren simultáneamente impacto en calidad del servicio, exposición al riesgo operativo, y eficiencia económica de la inversión (Palensky & Dietrich, 2011). Esta optimización puede reducir tiempos de respuesta ante interrupciones hasta 25% y mejorar la eficiencia de programas de mantenimiento preventivo con impacto directo en indicadores SAIDI y SAIFI.

3.6 Adopción de Plataformas SaaS para Integración Sistémica

La sexta estrategia transversal involucra la adopción de plataformas Software as a Service (SaaS) con alojamiento en la nube, que permiten escalabilidad modular, pago por funcionalidades utilizadas, y evitan inversiones significativas en infraestructura tecnológica local. Estas soluciones están diseñadas específicamente para facilitar interoperabilidad entre procesos técnicos, comerciales, regulatorios y financieros, constituyendo una aproximación ideal para empresas que deben integrar múltiples flujos de información en entornos regulatorios complejos (Westerman et al., 2014).

Las plataformas SaaS especializadas en servicios públicos ofrecen módulos específicos para gestión regulatoria automatizada, reportes al SUI, seguimiento de indicadores de calidad, y integración con sistemas ERP financieros, permitiendo que empresas medianas y pequeñas accedan a capacidades tecnológicas avanzadas sin requerir inversiones prohibitivas en desarrollo interno o consultorías especializadas (Vial, 2019). Esta aproximación modular facilita implementación gradual según prioridades operativas y disponibilidad presupuestaria.

La interoperabilidad inherente de las plataformas SaaS permite que mejoras en un proceso (automatización de facturación) se capitalicen automáticamente en otros procesos relacionados (gestión de cartera, reportes regulatorios, análisis de pérdidas), multiplicando el retorno de inversión tecnológica y facilitando la documentación integrada de eficiencias operativas para presentación ante organismos regulatorios.

3.7 Gestión del Cambio y Formación de Capacidades Internas

Ninguna tecnología genera impacto sustancial si no se acompaña de procesos estructurados de gestión del cambio, formación de capacidades, y adaptación cultural organizacional. Según Kotter (1996), la transformación organizacional exitosa requiere abordar simultáneamente aspectos técnicos y humanos, generando confianza en los equipos, formando competencias nuevas, redefiniendo roles operativos, y estableciendo que el cambio constituye un proceso continuo de mejora.

En el contexto específico del sector eléctrico, donde la resistencia al cambio puede verse amplificada por la estabilidad laboral del régimen estatutario en empresas públicas y la percepción de amenaza ante la automatización de funciones administrativas, el liderazgo adaptativo debe gestionar cuidadosamente la transición hacia modelos digitales (López-Rodríguez et al., 2022). La formación en nuevas competencias digitales debe enfocarse en demostrar cómo la automatización libera personal para actividades de mayor valor agregado como análisis estratégico, gestión de la innovación, y atención especializada a usuarios.

La apropiación tecnológica exitosa requiere que los equipos comprendan que el valor fundamental no radica en el software como tal, sino en las capacidades que habilita: toma de decisiones basada en evidencia, reducción de costos operativos verificables, mayor trazabilidad de procesos críticos, cumplimiento regulatorio automatizado, y prestación

de servicios más eficientes y justos para usuarios finales. Esta comprensión sistémica es fundamental para mantener el impulso transformador durante períodos de implementación de 12 a 24 meses antes de que las eficiencias se materialicen operativamente.

3.8 Alineación Estratégica con Marcos Regulatorios

Toda estrategia de digitalización debe diseñarse considerando explícitamente el marco regulatorio sectorial, evitando la percepción errónea de que la innovación tecnológica puede desarrollarse de manera aislada de las exigencias de reporte, calidad, eficiencia y transparencia impuestas por organismos estatales. Las soluciones tecnológicas que simultáneamente mejoran procesos internos y facilitan demostración de cumplimiento ante la SSPD, CREG, y MME generan valor dual: organizacional y regulatorio (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2022).

La documentación meticulosa de mejoras operativas mediante sistemas digitales constituye un elemento estratégico fundamental para futuras revisiones de metodologías tarifarias. Las empresas que pueden demostrar reducciones verificables en costos administrativos, mejoras sostenidas en indicadores de calidad, y optimización de procesos comerciales mediante evidencia técnica robusta estarán mejor posicionadas para argumentar reconocimiento tarifario de estas eficiencias en procesos de actualización metodológica de la CREG.

La interoperabilidad con sistemas estatales debe considerarse como un objetivo estratégico que trasciende el cumplimiento regulatorio básico. Las empresas que logren eliminar hasta 70% de los costos administrativos de reporte mediante automatización e integración directa con plataformas como el SUI no solo reducirán costos operativos internos, sino que contribuirán a mejorar la calidad de información disponible para diseño de política pública sectorial (International Renewable Energy Agency, 2024).

3.9 Implementación Gradual y Medición de Resultados

La implementación exitosa de transformación digital requiere una aproximación gradual que priorice iniciativas con mayor retorno de inversión, menor complejidad técnica, y mayor visibilidad de resultados para construir credibilidad organizacional y momentum para fases posteriores. La secuencialidad estratégica debe comenzar por automatización de procesos administrativos rutinarios (6-12 meses para materializar beneficios), avanzar hacia implementación de sistemas analíticos para mejora de indicadores operativos (12-18 meses), y culminar con adopción de inteligencia artificial para optimización predictiva de decisiones estratégicas (18-24 meses).

La medición sistemática de resultados mediante indicadores específicos y comparables resulta esencial tanto para gestión interna como para documentación regulatoria. Las empresas deben establecer líneas base cuantificadas antes de implementaciones tecnológicas y monitorear sistemáticamente mejoras en métricas como: reducción

porcentual de costos administrativos por usuario, mejora en precisión de proyecciones de demanda, optimización de tiempos de respuesta en atención al cliente, reducción de errores en facturación, mejora en indicadores SAIDI y SAIFI, y incremento en tasas de recuperación de cartera.

Esta aproximación basada en evidencia facilita no solo la justificación interna de inversiones tecnológicas, sino también la construcción de casos técnicos robustos para presentación ante organismos regulatorios en procesos de revisión metodológica. La transformación digital exitosa no implica revoluciones tecnológicas disruptivas, sino construcción sistemática de capacidades operativas mejoradas que generen valor verificable tanto para empresas como para usuarios finales del servicio eléctrico.

4. El liderazgo adaptativo como motor del cambio en la era de las tecnologías emergentes

La transformación digital en el sector eléctrico trasciende las consideraciones técnicas o tecnológicas para constituirse como un proceso fundamental de cambio organizacional que requiere estilos de liderazgo capaces de guiar equipos en entornos complejos, regulados y con resistencia cultural a la innovación (Uhl-Bien & Arena, 2018). En este escenario, donde la implementación de tecnologías emergentes como inteligencia artificial, arquitecturas de APIs, protocolos MCP, interfaces de voz, y sistemas human-in-the-loop puede generar eficiencias sustanciales pero enfrenta el desafío del reconocimiento en modelos de frontera estocástica, el liderazgo adaptativo se presenta como una herramienta crítica para navegar la complejidad tecnológica, regulatoria y operativa del sector.

A diferencia del liderazgo tradicional que se enfoca en aplicar soluciones conocidas a problemas definidos, el liderazgo adaptativo se orienta a enfrentar desafíos inciertos donde las respuestas emergen de manera colectiva, gestionando tensiones y facilitando aprendizajes (Heifetz et al., 2009). En el sector eléctrico, los líderes enfrentan múltiples desafíos simultáneos: cumplir con exigencias regulatorias que representan altos costos administrativos, mantener la continuidad del servicio bajo estándares SAIDI y SAIFI cada vez más exigentes, controlar costos operativos en actividades que representan hasta 53% de la tarifa final, y avanzar en procesos de modernización tecnológica cuyos beneficios pueden tardar entre 12 a 24 meses en materializarse operativamente y entre 3 a 5 años en ser reconocidos regulatoriamente por la CREG.

4.1 Liderazgo en la Adopción de Tecnologías Emergentes

El liderazgo adaptativo contemporáneo en el sector eléctrico debe desarrollar competencias específicas para gestionar la complejidad inherente a las tecnologías emergentes. La implementación de arquitecturas de APIs y microservicios requiere líderes capaces de articular equipos técnicos, comerciales y regulatorios tradicionalmente desconectados, promoviendo una visión sistémica donde la interoperabilidad trasciende barreras departamentales (Newman, 2015). Esta integración no constituye únicamente

un desafío técnico, sino un proceso de transformación cultural que demanda habilidades para comunicar beneficios abstractos de la interoperabilidad en términos concretos: reducción del 80% en tiempos de sincronización de información y eliminación de errores de transcripción manual.

La adopción de protocolos de intercambio estandarizados representa un reto particular para el liderazgo adaptativo, ya que requiere coordinación entre múltiples stakeholders para unificar formatos de información que tradicionalmente han sido patrimonio exclusivo de áreas especializadas. El líder debe facilitar espacios de diálogo entre personal técnico que comprende las ventajas de la estandarización, equipos comerciales que temen perder control sobre sus datos específicos, y áreas regulatorias que requieren garantías sobre cumplimiento normativo. Esta mediación resulta crítica considerando que la implementación de MCP puede reducir hasta 65% los costos de integración tecnológica.

La gestión de agentes de inteligencia artificial y Large Language Models (LLMs) demanda competencias de liderazgo particulares para abordar resistencias culturales amplificadas por percepciones erróneas sobre automatización total de funciones humanas. El líder adaptativo debe comunicar efectivamente que los agentes IA procesan automáticamente el 70-85% de PQR rutinarias no para eliminar empleos, sino para liberar personal hacia actividades de mayor valor agregado como gestión estratégica de usuarios críticos y desarrollo de programas especializados de eficiencia energética. Esta narrativa requiere traducir beneficios técnicos en oportunidades de crecimiento profesional y mejora de condiciones laborales.

Las interfaces de voz y comunicación multimodal presentan desafíos adicionales de adopción en contextos donde personal administrativo puede percibir amenazas a sus competencias tradicionales de atención al usuario. El liderazgo adaptativo debe demostrar cómo estas tecnologías democratizan el acceso a servicios para usuarios vulnerables mientras crean oportunidades para que personal experimentado se especialice en casos complejos que requieren empatía, comprensión del contexto social, y capacidad de resolución creativa de problemas que ninguna interfaz de voz puede replicar.

Los sistemas human-in-the-loop representan quizás la oportunidad más estratégica para el liderazgo adaptativo, ya que combinan automatización inteligente con supervisión humana especializada, creando un modelo híbrido que capitaliza fortalezas tanto tecnológicas como humanas. El líder debe estructurar procesos donde algoritmos de IA gestionan el 80-90% de decisiones rutinarias mientras personal técnico especializado mantiene control sobre casos excepcionales, usuarios críticos, y situaciones que requieren interpretación de normatividad compleja. Esta arquitectura híbrida puede mejorar indicadores SAIDI hasta 20% y SAIFI hasta 30% mientras preserva la expertise humana en decisiones estratégicas.

El líder adaptativo en este contexto debe desarrollar competencias específicas para gestionar la complejidad sectorial. La empatía organizacional constituye la primera competencia crítica, entendida como la capacidad de comprender los miedos y limitaciones

de equipos frente al cambio tecnológico, especialmente cuando la adopción de RPA puede automatizar hasta 70% de procesos administrativos o cuando la implementación de IA para gestión de cartera puede mejorar la recuperación entre 15-30%. No se trata únicamente de implementar tecnología, sino de lograr que las personas comprendan cómo estas herramientas pueden mejorar su desempeño sin amenazar su estabilidad laboral, considerando que el personal operativo y administrativo constituye una porción significativa de los costos AOM reconocidos en las metodologías de distribución y comercialización.

La segunda competencia fundamental es la capacidad de modular el cambio considerando las restricciones del marco regulatorio. El liderazgo adaptativo reconoce que los cambios tecnológicos deben ser progresivos y generar resultados medibles que puedan documentarse adecuadamente para futuras revisiones de las metodologías CREG. Esto implica priorizar implementaciones que produzcan mejoras cuantificables en indicadores específicos: reducción de costos administrativos por usuario, mejora en tiempos de respuesta de atención al cliente, optimización de procesos de facturación y recaudo, y fortalecimiento de indicadores de calidad del servicio. La secuencialidad estratégica es crucial: implementar primero automatizaciones con retorno de inversión de 6 a 12 meses antes de avanzar hacia soluciones más complejas de inteligencia artificial.

La articulación multisectorial representa una tercera competencia clave, especialmente relevante en un sector donde las decisiones empresariales deben alinearse con múltiples entidades regulatorias. El líder adaptativo debe ser capaz de comunicar efectivamente con la SSPD los beneficios de la automatización en términos de mejora en la calidad y oportunidad de los reportes del SUI, con la CREG la necesidad de actualizar las metodologías para reconocer eficiencias tecnológicas, y con el MME las implicaciones de la transformación digital en términos de política energética sectorial. Esta capacidad de traducción entre lenguajes técnicos, regulatorios y político es esencial para construir legitimidad y apoyo institucional.

En entornos donde la transformación digital enfrenta resistencias o es percibida como amenaza, el liderazgo adaptativo actúa como mediador entre lo técnico y lo humano. Es frecuente que equipos técnicos comprendan las ventajas de automatizar procesos de distribución o implementar sistemas predictivos de mantenimiento, pero que equipos administrativos teman perder control sobre procesos tradicionales de facturación o gestión de cartera. El líder debe anticipar estas dinámicas y gestionar la transición considerando que las mejoras tecnológicas en actividades reguladas pueden traducirse en beneficios tarifarios para usuarios solo si se documentan y comunican adecuadamente a los entes regulatorios.

4.2 Comunicación Estratégica de Tecnologías Emergentes

La comunicación estratégica constituye otra dimensión esencial, particularmente compleja cuando se trata de tecnologías emergentes que requieren explicaciones diferenciadas según audiencias específicas. El liderazgo adaptativo debe desarrollar capacidades para traducir beneficios tecnológicos abstractos en mensajes concretos y

cuantificables adaptados a diferentes stakeholders: “las arquitecturas de APIs reducen tiempos de sincronización de información en 80% y eliminan errores de transcripción manual”, “los protocolos MCP disminuyen costos de integración tecnológica en 65% mientras habilitan capacidades analíticas avanzadas”, “los agentes IA procesan automáticamente 70-85% de PQR rutinarias reduciendo tiempos de respuesta de 8 días a 2 horas”, “las interfaces de voz democratizan el acceso a servicios para usuarios vulnerables mientras liberan personal especializado para casos complejos”, “los sistemas human-in-the-loop mejoran indicadores SAIDI hasta 20% y SAIFI hasta 30% manteniendo control humano sobre decisiones estratégicas”.

Esta narrativa cuantificada debe diferenciarse según audiencias específicas. Para equipos técnicos, la comunicación debe enfocarse en capacidades habilitadas, interoperabilidad mejorada, y reducción de trabajo repetitivo. Para personal administrativo, debe enfatizar oportunidades de crecimiento profesional, liberación de tareas rutinarias hacia actividades de mayor valor, y mejora en condiciones laborales. Para alta gerencia, debe concentrarse en retornos de inversión medibles, reducción de costos operativos, y potencial de reconocimiento tarifario. Para organismos regulatorios, debe documentar mejoras verificables en indicadores de calidad, eficiencias operativas cuantificables, y contribución al cumplimiento normativo automatizado.

Adicionalmente, el liderazgo adaptativo debe mantener una visión sistémica que integre mejoras operativas con sostenibilidad financiera, cumplimiento regulatorio y experiencia del usuario. Un líder desconectado del marco tarifario puede promover iniciativas tecnológicamente atractivas pero que no generen valor reconocido en las metodologías de frontera estocástica, o que no contribuyan efectivamente a la reducción de costos en actividades reguladas. La visión sistémica implica entender que cada mejora operativa debe evaluarse desde múltiples perspectivas: impacto en AOM, contribución a mejores indicadores de calidad, potencial de reconocimiento en futuras revisiones regulatorias, y traducción en beneficios tangibles para usuarios del mercado regulado.

Finalmente, el líder debe impulsar una cultura de aprendizaje continuo y experimentación controlada. La transformación digital no constituye un proyecto con inicio y fin determinados, sino una práctica permanente de adaptación tecnológica y mejora operativa. Esto requiere instalar procesos de retroalimentación, espacios de experimentación mediante pilotos controlados, y una mentalidad organizacional orientada a capitalizar aprendizajes y escalar exitosos. En un contexto regulatorio que evoluciona lentamente, la capacidad de aprender rápidamente de la implementación tecnológica y ajustar estrategias según resultados observados representa una ventaja competitiva crucial.

El liderazgo adaptativo constituye el verdadero motor de la transformación digital sectorial en la era de las tecnologías emergentes. Independientemente de la sofisticación de las arquitecturas de APIs, la robustez de los protocolos MCP, la inteligencia de los agentes IA, la precisión de las interfaces de voz, o la eficiencia de los sistemas human-in-the-loop, sin líderes que comprendan la complejidad sistémica, articulen efectivamente múltiples actores y guíen organizaciones en entornos de incertidumbre tecnológica y regulatoria, la

digitalización permanecerá como promesa incumplida. La transformación efectiva requiere líderes que entiendan tanto las potencialidades integradas de las tecnologías emergentes como las limitaciones de los modelos de frontera estocástica, y que puedan construir puentes entre la innovación tecnológica multimodal y el reconocimiento regulatorio para que los beneficios de la eficiencia operativa habilitada por interoperabilidad inteligente se traduzcan en tarifas más justas para los usuarios del mercado regulado.

5. Implicaciones para la política tarifaria y el rol del regulador en la era de las tecnologías emergentes

La transformación digital basada en tecnologías emergentes como inteligencia artificial, arquitecturas de APIs, protocolos MCP, agentes IA, interfaces de voz y sistemas human-in-the-loop no solo tiene implicaciones operativas para las empresas del sector eléctrico. También plantea desafíos y oportunidades profundas para los organismos encargados de diseñar, actualizar y aplicar la regulación económica del servicio público. En particular, la estructura tarifaria basada en costos eficientes necesita ser repensada a la luz del potencial transformador de las tecnologías emergentes que pueden generar eficiencias operativas sustanciales pero que actualmente no encuentran reconocimiento en los modelos regulatorios tradicionales.

En los modelos tarifarios aplicados en países como Colombia, el concepto de “costo eficiente” es central. Según la metodología establecida por la CREG en la Resolución 015 de 2018, estos costos se definen como aquellos que enfrentaría una empresa bien gestionada, operando en condiciones normales, para prestar el servicio con calidad y continuidad. A partir de esta definición, se construyen los cargos tarifarios que los usuarios pagan por actividades de comercialización y distribución de energía eléctrica. El problema es que, en la práctica, estos costos eficientes se estiman con base en promedios históricos obsoletos, sin incorporar de manera suficiente las oportunidades de reducción de costos que hoy permiten la digitalización, la automatización y la inteligencia artificial (CREG, 2018).

Esto genera una distorsión crítica particularmente relevante en el contexto de las tecnologías emergentes: si una empresa logra reducir sus costos operativos en 25% mediante la implementación de RPA para reportes regulatorios, en 15% a través de IA para proyecciones de demanda, en 30% mediante herramientas de mantenimiento predictivo, en 80% mediante arquitecturas de APIs que eliminan errores de transcripción manual, en 65% mediante protocolos MCP que reducen costos de integración tecnológica, en 70-85% mediante agentes IA que procesan automáticamente PQR rutinarias, mediante interfaces de voz que democratizan el acceso a servicios reduciendo costos de atención, o mediante sistemas human-in-the-loop que mejoran indicadores SAIDI hasta 20% y SAIFI hasta 30%, ese esfuerzo no se ve reflejado de manera automática en una menor tarifa para los usuarios. Peor aún, en algunos casos, la empresa eficiente puede quedar fuera del promedio y ser penalizada en futuras revisiones por no ajustarse a los costos observados en el mercado. Así, la innovación tecnológica emergente es desincentivada y la mejora continua basada en interoperabilidad inteligente se frena.

5.1 Modernización Regulatoria para Reconocimiento de Tecnologías Emergentes

Por eso, uno de los principales llamados de este artículo es a que los reguladores también se transformen digitalmente para adaptarse a la era de las tecnologías emergentes. No se trata solo de exigir reportes en formatos electrónicos o digitalizar expedientes administrativos. Se trata de revisar fundamentalmente las metodologías de cálculo tarifario para que reconozcan el impacto real de las arquitecturas de APIs, protocolos MCP, agentes IA, interfaces de voz y sistemas human-in-the-loop en los costos del sistema. Esto podría incluir propuestas específicas como:

Modernización de benchmarking con tecnologías emergentes: Desarrollar modelos comparativos entre empresas que han implementado arquitecturas de APIs versus aquellas que operan con sistemas tradicionales, ajustados por variables contextuales como tamaño, región y complejidad operativa, incorporando factores de corrección tecnológica específicos de hasta 30% en costos administrativos para empresas que demuestren interoperabilidad completa.

Coeficientes de eficiencia para tecnologías emergentes: Incorporar multiplicadores específicos en las proyecciones de costos que reconozcan implementaciones verificables de agentes IA e interfaces digitales, con reducciones tarifarias graduales de 3% a 8% anual según el nivel de adopción tecnológica demostrado mediante auditorías técnicas especializadas.

Incentivos diferenciados para interoperabilidad inteligente: Establecer mecanismos de bonificaciones (incrementos de hasta 15% en el reconocimiento tarifario) para empresas que demuestren mejoras sostenidas mediante implementación integral de APIs, agentes IA e interfaces digitales, medidas a través de indicadores específicos como reducción de tiempos de procesamiento de PQR (de 8 días a 2 horas), mejora en indicadores SAIDI/SAIFI (15-30%), y automatización completa de procesos regulatorios.

Actualización temporal acelerada para tecnologías dinámicas: Reducir el peso de variables históricas rígidas (actualmente basadas en períodos de 5 años) en favor de datos en tiempo real capturados mediante APIs y proyecciones dinámicas con ventanas móviles de 18 meses para tecnologías con ciclos de mejora acelerados.

Interoperabilidad regulatoria avanzada: Implementar estándares MCP para reportes automatizables con interoperabilidad directa entre bases de datos del SUI y los sistemas empresariales mediante APIs, eliminando hasta 85% de los costos administrativos de cumplimiento regulatorio y habilitando supervisión en tiempo real de indicadores críticos mediante sistemas human-in-the-loop regulatorios (IRENA, 2024).

5.2 Adopción de Tecnologías Emergentes por Organismos Regulatorios

También es necesario que los reguladores adopten las mismas tecnologías emergentes que promueven en el sector. Hoy, buena parte de los análisis tarifarios y de calidad

se siguen haciendo en hojas de cálculo o con estructuras de bases de datos cerradas. Si las entidades regulatorias y de vigilancia (como la CREG, la SSPD y el MME en Colombia) implementaran arquitecturas de APIs para integración interinstitucional, protocolos MCP para estandarización de intercambio de información, agentes IA para procesamiento automatizado de reportes empresariales, interfaces de voz para consultas ciudadanas, y sistemas human-in-the-loop para supervisión regulatoria inteligente que combine automatización con experticia humana especializada, podrían tener una visión más integral, predictiva y proactiva del comportamiento del sector mientras reducen sustancialmente sus propios costos operativos.

5.3 Reducción de Costos Sistémicos mediante Interoperabilidad Regulatoria Inteligente

Otro punto central es que las tecnologías emergentes permiten reducir costos estructurales del sistema, no solo en cada empresa de manera individual, sino en la forma en que se relacionan con el Estado mediante interoperabilidad inteligente. Por ejemplo, si los reportes regulatorios pudieran ser generados automáticamente desde los sistemas operativos de las empresas mediante APIs integradas, validados mediante agentes IA que aplican algoritmos de consistencia y detección de anomalías, transmitidos mediante protocolos MCP estandarizados, y enviados a una plataforma integrada del Estado que opere con sistemas human-in-the-loop para supervisión especializada, se ahorrarían miles de horas-hombre al año tanto en empresas como en organismos estatales, mientras se mejoraría exponencialmente la calidad de la información disponible para el diseño de política pública sectorial.

Esto es aún más relevante cuando se considera que en muchos países de la región los subsidios a las tarifas se están convirtiendo en una presión creciente para las finanzas públicas. En lugar de seguir aumentando transferencias para compensar inefficiencias o desigualdades estructurales, los gobiernos y reguladores podrían impulsar un modelo de eficiencia estructural vía digitalización, en el cual las tarifas bajaran no por subsidios, sino por la reducción real de costos operativos reconocidos en el modelo tarifario.

5.4 El Regulador como Facilitador de la Interoperabilidad Inteligente

Desde esta perspectiva, el regulador no debe ser un espectador pasivo del proceso de transformación digital basado en tecnologías emergentes, ni limitarse a regular los resultados ex post. Debe ser un actor activo que lidere, facilite y coordine la adopción de arquitecturas de APIs interinstitucionales, implemente protocolos MCP para estandarización sectorial, desarrolle agentes IA para supervisión automatizada inteligente, despliegue interfaces multimodales para participación ciudadana, y opere sistemas human-in-the-loop que combinen automatización con experticia regulatoria especializada. Esta transformación regulatoria debe acompañar, incentivar y reconocer dinámicamente el esfuerzo de las empresas por innovar mediante tecnologías emergentes, con especial

énfasis cuando estas innovaciones basadas en interoperabilidad inteligente tienen un efecto directo y medible en la reducción de costos trasladables al bolsillo del usuario.

En síntesis, la transformación digital basada en tecnologías emergentes en el sector eléctrico será incompleta si no se refleja integralmente en las fórmulas tarifarias y en los modelos de regulación contemporáneos. Un nuevo enfoque regulatorio que incorpore arquitecturas de APIs, protocolos MCP, agentes IA, interfaces de voz y sistemas human-in-the-loop —más dinámico, interoperable, predictivo, centrado en resultados cuantificables y alineado con las capacidades tecnológicas del siglo XXI— es clave para lograr un sistema eléctrico más justo, competitivo, eficiente y sostenible que capitalice el potencial transformador de la interoperabilidad inteligente para beneficio directo de los usuarios del mercado regulado.

6. Reflexión final: hacia una transformación digital con impacto real

La transformación digital en el sector eléctrico ha evolucionado desde una opción aspiracional hacia una necesidad estratégica impostergable. El desarrollo de tecnologías emergentes que pueden generar reducciones de costos operativos entre 15% y 40% coincide con presiones tarifarias crecientes en América Latina, creando una oportunidad única para repensar los modelos de eficiencia sectorial.

La Paradoja Central

Este análisis ha demostrado una paradoja crítica: mientras las tecnologías emergentes pueden reducir significativamente los costos operativos, los marcos regulatorios operan con datos históricos obsoletos que no reconocen estas capacidades. Las empresas innovadoras pueden aparecer como “ineficientes” en análisis comparativos basados en metodologías desactualizadas, desincentivando la inversión tecnológica precisamente cuando más se necesita.

Hacia un Modelo de Eficiencia Estructural

La solución requiere articulación entre tres dimensiones:

- **Transformación Empresarial:** Implementación de tecnologías emergentes con retornos medibles, documentando meticulosamente mejoras operativas para evidenciar eficiencias cuantificables.
- **Modernización Regulatoria:** Evolución de metodologías CREG hacia reconocimiento dinámico de capacidades tecnológicas contemporáneas, incorporando coeficientes específicos para tecnologías emergentes.
- **Liderazgo Adaptativo:** Competencias para navegar la complejidad tecnológica y regulatoria, gestionando la tensión temporal entre eficiencias operativas rápidas (6-18 meses) y reconocimiento regulatorio lento (18 meses - 4 años).

El Contraste Fundamental

Este enfoque contrasta con soluciones tradicionales insostenibles (subsídios, congelamientos tarifarios) al proponer reducción de tarifas mediante eficiencias reales del sistema eléctrico reconocidas regulatoriamente.

El Rol Transformador del Estado

Los organismos regulatorios deben adoptar las mismas tecnologías que promueven, evolucionando hacia supervisión inteligente automatizada con interoperabilidad interinstitucional que elimine redundancias administrativas.

Visión Prospectiva

Si el sector eléctrico latinoamericano implementa esta agenda con seriedad institucional, podrá demostrar empíricamente que es posible reducir tarifas estructuralmente: no por decreto político sino por inteligencia organizacional que capitalice dinámicamente las eficiencias habilitadas por las tecnologías del siglo XXI.

La transformación digital representa fundamentalmente un medio para construir un sistema eléctrico más justo, eficiente y centrado en las necesidades ciudadanas, donde la innovación tecnológica se traduzca en beneficios tarifarios verificables para los usuarios del mercado regulado.

Referencias

- Accenture. (2023). Artificial intelligence in utilities: Transforming the energy sector through intelligent automation. <https://www.accenture.com/ai-utilities-2023>
- Ahmad, T., Chen, H., Guo, Y., & Wang, J. (2017). A comprehensive overview on the data driven and large scale based approaches for forecasting of building energy demand: A review. *Energy and Buildings*, 165, 301-320.
- Alonso, G., Casati, F., Kuno, H., & Machiraju, V. (2004). *Web Services: Concepts, Architectures and Applications*. Springer-Verlag.
- Baldwin, R., Cave, M., & Lodge, M. (2012). *Understanding regulation: Theory, strategy, and practice* (2nd ed). Oxford University Press.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2023). Hacia un sector eléctrico más eficiente y sostenible: el rol de la transformación digital en América Latina. <https://www.iadb.org>
- Banco Mundial. (2022). Modernización del sector eléctrico en América Latina: Desafíos de la transformación digital en entidades públicas. <https://www.bancomundial.org>

- Borins, S. (2014). *The persistence of innovation in government*. Brookings Institution Press.
- Chen, X., Liu, Y., & Wang, H. (2021). Digital transformation in utility customer service: Evidence from smart CRM implementation. *Energy Policy*, 156, 112-124.
- Christensen, C. M., Baumann, H., Ruggles, R., & Sadtler, T. M. (2006). Disruptive innovation for social change. *Harvard Business Review*, 84(12), 94–101.
- Corficolombiana. (2024). Análisis sectorial: Tarifas eléctricas en Colombia 2021-2024. Informe de Investigación Económica. <https://www.corficolombiana.com>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2009). Resolución 011 de 2009: Por la cual se establece la metodología para la remuneración del servicio de transmisión de energía eléctrica en el Sistema de Transmisión Nacional. <https://www.creg.gov.co>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2018). Resolución 015 de 2018: Por la cual se establece la metodología general para remunerar la actividad de distribución de energía eléctrica en el mercado regulado. <https://www.creg.gov.co>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2019). Resolución 138 de 2019: Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de comercialización de energía eléctrica en el mercado regulado. <https://www.creg.gov.co>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2019). Resolución 140 de 2019: Por la cual se establece la metodología de asignación de costos de generación para el cargo por confiabilidad. <https://www.creg.gov.co>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2023). Información estadística del sector eléctrico colombiano: Composición tarifaria y estructura de costos. <https://www.creg.gov.co/estadisticas>
- Deloitte. (2020). Digital transformation and the utilities sector. <https://www2.deloitte.com>
- Fielding, R. T. (2000). Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. Doctoral dissertation, University of California, Irvine.
- García-Sánchez, I. M., Rodríguez-Ariza, L., & Frías-Aceituno, J. V. (2020). Contratación pública y transformación digital en Colombia: Barreras normativas para la innovación tecnológica. *Revista de Administración Pública*, 45(2), 123-145.
- González-González, M. L., & Jiménez-Ruiz, C. A. (2019). Continuidad institucional y transformación digital en empresas públicas colombianas. *Cuadernos de Economía*, 38(76), 89-112.
- Heifetz, R. A. (1994). *Leadership without easy answers*. Harvard University Press.
- Heifetz, R., Grashow, A., & Linsky, M. (2009). *The practice of adaptive leadership: Tools and tactics for changing your organization and the world*. Harvard Business Press.

- International Energy Agency (IEA). (2024). Digitalization and energy transition: Technology roadmap. <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy-2024>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2024). Digital solutions for renewable energy integration in Latin America. <https://www.irena.org/digital-solutions-latam-2024>
- Joskow, P. L. (2007). Regulation of natural monopoly. En A. M. Polinsky & S. Shavell (Eds.), *Handbook of law and economics* (Vol. 2, pp. 1227-1348). Elsevier.
- Katz, R. (2015). El ecosistema y la economía digital en América Latina. CEPAL.
- Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Harvard Business Review Press.
- Kumar, A., Singh, R., & Patel, S. (2019). Machine learning applications in utility customer relationship management: A systematic review. *Utilities Policy*, 61, 100-115.
- Lacity, M. C., & Willcocks, L. P. (2016). Robotic process automation at Telefónica O2. *MIS Quarterly Executive*, 15(1), 21-35.
- López-Rodríguez, P., Martínez-Santos, A., & Hernández-García, L. (2022). Resistencia al cambio tecnológico en organizaciones públicas: El caso del sector eléctrico colombiano. *Revista de Gestión Pública*, 11(1), 67-84.
- Maldonado, C. E., García, R. A., & Vásquez, M. H. (2021). Politización y capacidad técnica en empresas públicas de servicios: Evidencia del sector eléctrico en Colombia. *Análisis Político*, 34(101), 45-68.
- McKinsey & Company. (2023). The state of AI in 2023: Generative AI's breakout year. McKinsey Global Institute.
- Moore, M. H. (1995). *Creating public value: Strategic management in government*. Harvard University Press.
- Newman, S. (2015). *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. O'Reilly Media.
- Northouse, P. G. (2019). *Leadership: Theory and practice* (8th ed.). SAGE Publications.
- OECD. (2020). *Digital transformation in the age of COVID-19: Building resilience and bridging divides*. OECD Publishing.
- Palensky, P., & Dietrich, D. (2011). Demand side management: Demand response, intelligent energy systems, and smart loads. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 381-388.
- PwC. (2024). AI in utilities: From pilot to production scale. <https://www.pwc.com/ai-utilities-2024>

- Radziwill, N. M., & Benton, M. C. (2017). Evaluating quality of chatbots and intelligent conversational agents. *Software Quality Professional*, 19(3), 25-36.
- Richardson, C. (2018). *Microservices Patterns: With examples in Java*. Manning Publications.
- Rodríguez-Pose, A., & Ezcurra, R. (2023). Fragmentación institucional y eficiencia en servicios públicos: El caso del sector eléctrico en países en desarrollo. *Regional Studies*, 57(3), 234-251.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). (2022). Manual de Reportes Regulatorios al Sistema Único de Información – SUI. <https://www.superservicios.gov.co>
- Transparency International. (2023). Corruption Perceptions Index 2023: Colombia. <https://www.transparency.org/en/cpi/2023>
- Tuballa, M. L., & Abundo, M. L. (2016). A review of the development of Smart Grid technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 710-725.
- Uhl-Bien, M., & Arena, M. (2018). Leadership for organizational adaptability: A theoretical synthesis and integrative framework. *The Leadership Quarterly*, 29(1), 89-104.
- Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2023). Subastas de energía firme de largo plazo: Mecanismo de contratación energética para la garantía del abastecimiento nacional. <https://www.upme.gov.co>
- Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. *The Journal of Strategic Information Systems*, 28(2), 118-144.
- Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading digital: Turning technology into business transformation*. Harvard Business Review Press.
- Willcocks, L., Lacity, M., & Craig, A. (2015). The IT function and robotic process automation. *The Outsourcing Unit Working Paper Series*, London School of Economics, 15(05), 1-39.
- Williamson, O. E. (1985). *The economic institutions of capitalism: Firms, markets, relational contracting*. Free Press.
- World Bank. (2021). Digital transformation in energy utilities. *Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP)*. <https://www.esmap.org>

Resumen no técnico

En América Latina, muchas empresas del sector eléctrico enfrentan dificultades para modernizarse por limitaciones técnicas, presupuestarias y organizacionales. Este artículo propone que la transformación digital basada en tecnologías emergentes puede mejorar significativamente la eficiencia operativa, reducir costos estructurales y, en consecuencia, contribuir a la disminución real de las tarifas eléctricas mediante interoperabilidad inteligente.

Se presentan estrategias específicas basadas en cinco tecnologías emergentes integradas: arquitecturas de APIs que eliminan hasta 80% los errores de transcripción manual y permiten que diferentes sistemas se comuniquen automáticamente; protocolos MCP que reducen 65% los costos de integración tecnológica mediante estandarización inteligente; agentes de inteligencia artificial que procesan automáticamente 70-85% de peticiones, quejas y reclamos reduciendo tiempos de respuesta de 8 días a 2 horas; interfaces de voz que democratizan el acceso a servicios para usuarios vulnerables mediante comunicación natural; y sistemas human-in-the-loop que combinan automatización inteligente con supervisión humana especializada, mejorando indicadores de calidad del servicio hasta 20-30% mientras preservan el control humano sobre decisiones estratégicas.

Estas tecnologías emergentes, cuando se implementan de manera integrada, pueden generar reducciones de costos operativos entre 15% y 40% en actividades que representan hasta 53% de la tarifa final del usuario. Sin embargo, el artículo identifica una paradoja crítica: mientras estas eficiencias pueden materializarse en 6-18 meses, los marcos regulatorios actuales operan con datos históricos obsoletos sin reconocer el potencial de las tecnologías de vanguardia.

Se resalta la necesidad de un liderazgo adaptativo específico para tecnologías emergentes que desarrolle competencias para gestionar la complejidad de la interoperabilidad inteligente, comunicar beneficios cuantificables a múltiples audiencias, y articular equipos técnicos tradicionalmente desconectados. Este liderazgo debe navegar la tensión temporal entre eficiencias operativas rápidas y reconocimiento regulatorio lento, manteniendo el impulso transformador basado en evidencia mientras construye condiciones para actualización metodológica.

Por último, se hace un llamado integral a los entes reguladores para que evolucionen hacia metodologías específicas para tecnologías emergentes, incorporando coeficientes de eficiencia para arquitecturas de APIs, protocolos MCP, agentes IA, interfaces de voz, sistemas human-in-the-loop, entre otros. Los supervisores deben adoptar estas mismas tecnologías para la vigilancia automatizada inteligente, eliminando hasta 85% de costos administrativos de cumplimiento mediante interoperabilidad regulatoria avanzada.

En lugar de subsidios insostenibles o congelamientos tarifarios, la vía estructural para lograr tarifas justas es la eficiencia basada en interoperabilidad inteligente: reducir costos reales del sistema mediante ecosistemas tecnológicos integrados, reconocidos dinámicamente en marcos regulatorios contemporáneos que capitalicen las capacidades transformadoras de las tecnologías emergentes para beneficio directo de los usuarios del mercado regulado, al tiempo que se mantiene y aumenta la confiabilidad del sistema.

