



NOTA TÉCNICA N° IDB-TN- 02833

Hoja de Ruta para la Transformación Digital del Sector Energético en América Latina y el Caribe

Autores:

Oliverio Álvarez Alonso
Alberto Díaz Echeverría
Noé Afonso Pérez
Alfonso Sánchez Campos
Cecilia Bordiu Garcia-Ovies

Editores:

José Luis Irigoyen
Jairo Alexander Riobó Patino
Eric Fernando Boeck Daza
María Angelica Pfeifer Vargas

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Energía

Octubre de 2023



Hoja de Ruta para la Transformación Digital del Sector Energético en América Latina y el Caribe

Autores:

Oliverio Álvarez Alonso
Alberto Díaz Echeverría
Noé Afonso Pérez
Alfonso Sánchez Campos
Cecilia Bordiu García-Ovies

Editores:

José Luis Irigoyen
Jairo Alexander Riobó Patino
Eric Fernando Boeck Daza
María Angelica Pfeifer Vargas

Banco Interamericano de Desarrollo
División de Energía

Octubre de 2023

Catalogación en la fuente proporcionada por la Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo

Hoja de ruta para la transformación digital del sector energético en América Latina y el Caribe /
Oliveiro Alvarez, Alberto Díaz Echeverría, Noé Afonso, Alfonso Sánchez Campos, Cecilia Bordiu Garcia-
Ovies.

p. cm. — (Nota Técnica del BID ; 2833)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Energy industries-Technological innovations-Latin America. 2. Energy industries-Technological
innovations-Caribbean Area. 3. Computer security-Latin America. 4. Computer security-Caribbean
Area. I. Alvarez Alonso, Oliverio. II. Díaz Echeverría, Alberto. III. Afonso, Noe. IV. Sánchez
Campos, Alfonso. V. Bordiu, Cecilia. VI. Banco Interamericano de Desarrollo. División de
Energía. VII. Serie.

IDB-TN-2833

JEL Codes: L94 , O14, O32, O33, O54, Q4, Q54, Q55

Palabras clave: Transformación digital, digitalización, energía, usuarios, resiliencia, cadena de valor,
innovación, tecnología, flexibilidad, ciberseguridad

<http://www.iadb.org>


Copyright © 2023 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una
licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO
(<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y
condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que
surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la
OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse
amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones
Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al
reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID, no están autorizados por esta licencia y
requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan
el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.





**Hoja de ruta para la
transformación digital
del sector energético en
América Latina y el Caribe**

Agradecimientos

Este informe es parte de la agenda de conocimiento desarrollada por la División de Energía del Banco Interamericano de Desarrollo, la cual tiene por objetivo desarrollar nuevos productos de conocimiento y programas de asistencia técnica para los países de América Latina y el Caribe. Los productos de conocimiento generados tienen la intención de informar, guiar y ofrecer un menú de recomendaciones a los hacedores de políticas y participantes activos en los mercados energéticos, incluidos los consumidores, las empresas de servicios públicos y los reguladores.

El informe fue elaborado bajo la dirección general de Marcelino Madrigal (Jefe de la División de Energía). El líder del equipo de trabajo es José Luis Irigoyen. Los principales autores del informe son Oliverio Álvarez Alonso, Alberto Díaz Echeverría, Noé Afonso Pérez, Alfonso Sánchez Campos, Cecilia Bordiu García-Ovies de Deloitte España. Los miembros del equipo de trabajo incluyen a Eric Fernando Boeck Daza, Jairo Alexander Riobó Patino, y María Angelica Pfeifer Vargas. El equipo agradece a Lenin Balza, Arturo Alarcón, Virginia María Snyder y Adriana Valencia Jaramillo por sus comentarios y revisión. El equipo agradece el apoyo financiero de la cooperación técnica “InfraDigital - Promoción de la Transformación Digital para Servicios de Infraestructura y Energía en ALC” (RG-T4098).

Índice



1. Introducción	05
2. Tecnologías para la digitalización del sector energético	11
3. Principales tendencias en el sector energético a nivel global	14
4. Estado actual de la transformación digital en la región	29
5. La visión de los agentes de la región sobre el proceso de transformación digital	43
5.1. Grado de avance de la transformación digital en la región según los agentes	44
5.2. Principales reflexiones extraídas de la visión de los agentes del sector encuestados	48
6. Mejores prácticas globales identificadas y potencialmente replicables en ALC	50
6.1. Mejores prácticas y lecciones aprendidas para la transformación digital del sector	51
6.2. Recomendaciones para acelerar la transformación digital en la región	57
6.3. Potencial de replicabilidad de las mejores prácticas a medio y largo plazo	60
Anexo A. Tecnologías para la digitalización del sector energético	63
Anexo B. Contactos mantenidos con agentes públicos y privados del sector	76
Anexo C. Formulario de encuesta realizada a los agentes de ALC	78



Índice de figuras

Figura 1. Principales cambios en los sistemas energéticos actuales. Fuente: Elaboración propia, adaptado a partir de informe “Visión FutuRed 2050” (Futured, 2020).	06
Figura 2. Elementos clave para la transformación digital del sector energético. Fuente: Elaboración propia.	07
Figura 3. Ahorro potencial de costes en el sector eléctrico, como consecuencia de la digitalización, en billones de dólares americanos (International Energy Agency, 2017)	08
Figura 4. Parámetros de selección de países. Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 5. Principales tendencias en torno a la transformación digital centrada en el usuario. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 6. Los modelos de negocio behind-the-meter. Fuente: Elaboración propia.	19
Figura 7. Previsión de capacidad renovable a 2030. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea, REE, Terna, U.K. Government, GlobalData, EIA, EnerData, IEA.	20
Figura 8. Desafíos del cambio climático en el ámbito del sector energético. Fuente: Elaboración propia, adaptación a partir de gráfico de OECD - Informe “Climate-resilient infrastructure” (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2018).	24
Figura 9. Prioridades y preocupaciones de América Latina y Caribe de los líderes del sector energético en la región. Fuente: Elaboración propia, adaptado a partir del informe “World Energy Issues Monitor 2022” (World Energy Council, 2022)	30
Figura 10. Países seleccionados para evaluar el estado actual de la transformación digital en la región ALC. Fuente: Elaboración propia.	31
Figura 11. Tasa de electrificación por país. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del Informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2022” (OLADE, sieALC, 2022).	31
Figura 12. Intervalos de penetración de Medidores inteligentes en los diferentes países de la región. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del informe “La medición inteligente en América Latina y el Caribe” (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023).	32
Figura 13. Países pioneros en el desarrollo de iniciativas para el despliegue de comunidades energéticas. Fuente: Elaboración propia en base a información de carácter nacional y sectorial.	33
Figura 14. Capacidad Instalada en la región (2021). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2022 (OLADE, sieALC, 2022).	35

Figura 15. Capacidad instalada de generación de electricidad en la región - Países con mayor despliegue renovable (GW) (Hub de energía, 2021)	36
Figura 16. Capacidad instalada de generación de electricidad en la región - Países con despliegue renovable más moderado (GW) (Hub de energía, 2021) (Datos Macro, 2021)	36
Figura 17. Desarrollo temporal de mejores prácticas en el entorno de la transformación digital del sector energético. Fuente: Elaboración propia.	60

Índice de cuadros

Cuadro 1. Clasificación de tecnologías emergentes innovadoras en el sector energético. Fuente: Elaboración propia.	12
Cuadro 2. Grado de avance del Smart metering en países seleccionados. Fuente: Elaboración propia	17
Cuadro 3. Estrategias de ciberseguridad en los países analizados. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos obtenidos de Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale, Departamento Nacional de Seguridad, la Presidência do Conselho de Ministros, Cabinet Office UK Government, U.S. Department of Energy y South Korean Ministry of Science and ICT.	26
Cuadro 4. Clasificación de tecnologías emergentes innovadoras en el sector energético. Fuente: Elaboración propia.	63

Glosario de siglas

ACERA	Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento
ADELAT	Asociación de Distribuidoras de Energía eléctrica Latinoamericanas
AMI	Alfabetización Mediática e Informativa
ARERA	Regulatory Authority for Energy, Networks and Environment (<i>Autoridad Reguladora para Energía, Redes y Medio Ambiente</i>)
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIM	Building Information Modeling
CAPEX	Capital Expenditures (<i>Gastos de Capital</i>)
CFE	Comisión Federal de Electricidad de Chile
CIGRE	Comité chileno del Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas
CIO	Chief Information Officer (<i>Director de Información</i>)
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales o Provocados
CTO	Chief Technology Officer (<i>Director de Tecnología</i>)
EBITDA	Earnings Before Interest Taxes Depreciation and Amortization (<i>Ganancias Antes de Intereses, Impuestos, Depreciación y Amortización</i>)
ESCOs	Empresas de Servicios Energéticos
GW	Gigavatio
I+D+i	Investigación, Desarrollo e innovación
ICT	Information and Communication Technology (<i>Tecnologías de la Información y Comunicación</i>)
IEA	International Energy Agency (<i>Agencia Internacional de Energía</i>)
IoT	Internet of Things (<i>Internet de las Cosas</i>)
IRA	Inflation Reduction Act (<i>Ley de Reducción de la Inflación</i>)
ALC	Latin America and Caribbean (<i>América Latina y el Caribe</i>)
LCOE	Levelized Cost of Energy (<i>Costo Nivelado de Energía</i>)
OEA	Organización de los Estados Americanos
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
OPEX	Operational expenditures (<i>Gastos Operativos</i>)
P2P	Peer to peer (<i>De par a par</i>)
REE	Red Eléctrica de España
RPA	Robotic Process Automation (<i>Automatización Robótica de Procesos</i>)
TI	Tecnología de la información
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TIR	Tasa Interna de Retorno
UNGRD	Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres

Resumen ejecutivo



La **transformación digital del sector energético** es un proceso que va más allá de la introducción de tecnologías avanzadas, **implica un profundo cambio que abarca tanto la actualización de activos, herramientas y sistemas como la transformación de la cultura organizacional y las interacciones sociales** en las empresas del sector.



En este contexto, la **elaboración de una Hoja de Ruta para la transformación digital del sector energético en la región de América Latina y el Caribe** es un ambicioso ejercicio de prospectiva en la que deben de considerarse tanto variables tecnológicas, como económicas, culturales y sociales.

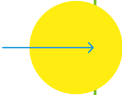
Este ejercicio es complejo debido a los **retos emergentes** a los que se está enfrentando actualmente, y en un futuro próximo, el sector: la **descarbonización** de los sistemas energéticos; la progresiva **electrificación** de la demanda, que pasa por asegurar el acceso del 100% de la población a una electricidad de calidad; la necesidad de asegurar la **calidad de suministro** energético ante un creciente despliegue de tecnologías renovables, de carácter intermitente; y una **mayor eficiencia energética** a través de la reducción de pérdidas en la red.

Esta necesaria transformación digital se ve impulsada por cuatro pilares básicos que han supuesto la base de la propia transformación y modernización del sector: (i) un progresivo aumento de la **participación de los usuarios** en los sistemas energéticos, como agentes activos en los mercados, (ii) una transición hacia modelos energéticos de generación más sostenibles y **flexibles**, (iii) la necesidad de un sistema energético **resiliente** ante los fenómenos naturales cada vez más extremos y los riesgos cibernéticos, (iv) una **cadena de valor** sólida y de proximidad.


El desarrollo de este proceso de transformación no es uniforme, existiendo diferentes grados de implementación, tanto en la región de ALC, como a nivel internacional. En este sentido, la identificación de casos de éxito en otros países y su potencial replicabilidad en la región, se ha considerado un factor clave de cara al desarrollo de una Hoja de Ruta, y **del análisis se han extraído cinco recomendaciones relevantes para la transformación digital de la región:**

- 1. Un marco regulatorio moderno y estable.** La regulación se considera un aspecto clave, de carácter incentivador, para que las empresas del sector privado inviertan en el despliegue de nuevas soluciones para la transformación digital del sector. En concreto, disponer de una definición técnica compartida o de objetivos concretos proporciona certidumbre en el tiempo y seguridad jurídica en el despliegue de tecnologías disruptivas o nuevos modelos de negocio.

Cabe señalar que los países analizados disponen o se encuentran en proceso de desarrollo de regulación específica en el ámbito de la transformación digital. Algunos de ellos, como Reino Unido, se apoyan en herramientas como los bancos de pruebas regulatorios con el fin de lograr un desarrollo rápido e involucrar a los grupos de interés identificando las principales barreras regulatorias a las que se enfrentan al desplegar soluciones de digitalización a nivel sectorial. Otros, como Italia, España y Portugal, evolucionan en base a objetivos concretos marcados e incentivados por la Unión Europea, a través de sus Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima.

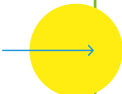


Tras analizar el estado de la región de ALC, se recomienda, como primer paso, el desarrollo de una visión compartida de transformación digital, así como desarrollar estrategias y planes que definan objetivos claros y se adapten a las diversas realidades locales. Ya que, según ha manifestado un **37% de los agentes del sector encuestados, la existencia de una regulación inadecuada es una restricción para el avance de la transformación digital en el mismo.**




2. Incentivos económicos para la inversión en digitalización. Una adecuada transformación digital del sector energético va a suponer un incremento de la calidad y la eficiencia, que podría traducirse en un ahorro económico para el sistema energético. Sin embargo, para llegar a ese punto, se requieren incentivos económicos a la inversión que permitan una transformación digital homogénea del sector.

De todos los países analizados, cabe destacar el ejemplo de Estados Unidos que dispone de programas de apoyo económico destinados a reforzar la infraestructura de red mediante la implementación de tecnologías digitales disruptivas, por ejemplo, con programas como el *Inflation Reduction Act* o el *Smart Grid Investment Program*. Asimismo, en los países de la Unión Europea, tras el COVID-19, se han desplegado una serie de medidas a través de los fondos europeos para incentivar el desarrollo de infraestructura energética, así como la innovación a nivel sectorial, a través de nuevos modelos y vectores energéticos.



En el contexto de la región de ALC, se ha identificado una distribución desigual de costes y beneficios entre los actores involucrados, lo que puede desincentivar la adopción generalizada de tecnologías digitales. Para abordar esta asimetría se requiere la **implementación de políticas y estrategias que fomenten el acceso equitativo a las tecnologías digitales y la colaboración entre gobiernos, empresas y organizaciones.** En este sentido, los costos de la transformación digital son la principal barrera identificada, por un 67% de los agentes encuestados, para el desarrollo de la transformación digital.



3. Adopción tecnológica hacia modelos y servicios disruptivos. Parte del proceso de transformación digital integra la necesidad de disponer de tecnologías digitales disruptivas junto al aprovechamiento máximo de su potencial en el sector. En otras palabras, el objetivo final de esta transformación trasciende el hecho de lograr una mayor eficiencia de los procesos, y tiene una óptica más amplia que involucra la introducción de nuevos modelos de negocio que involucren al usuario final como un agente más del mercado.

Los países líderes en transformación digital analizados comparten esta visión, que va más allá de introducir mejoras sobre el sistema existente, para dar lugar a un modelo más disruptivo. En concreto, Corea del Sur dispone de una industria muy potente en el ámbito del desarrollo de las tecnologías de la información que hace que disponga de soluciones digitales disruptivas aplicables al ámbito energético.

A partir de las ideas extraídas del análisis del estado actual de la región, se ha observado que **las tecnologías digitales tienden a destinarse mayoritariamente a mejorar procesos existentes en lugar de a fomentar la innovación y nuevos modelos de negocio**, lo que supone que aún queda potencial por explotar en la transformación digital del sector, sobre todo en los ámbitos más disruptivos tecnológicamente. De acuerdo con las barreras identificadas por parte de los agentes encuestados, se considera clave invertir en nuevas tecnologías. Un **33% de los agentes encuestados consideran que la infraestructura tecnológica actual es débil**. Esta visión se refuerza especialmente en el sector público, con más de un 41% de los agentes públicos del sector considerándolo como una barrera para el despliegue eficaz de la transformación digital.

4. Cultura digital. Unida al progresivo desarrollo digital, existe un cambio en la conciencia social que impulsa al sector energético hacia nuevos modelos de negocio cada vez más digitalizados.

Un aspecto común identificado en los países líderes y, sobre todo, en las conversaciones con agentes relevantes a nivel sectorial, es la implementación de estrategias y planes por parte de los agentes privados del sector energético para desarrollar competencias digitales e impulsar la transformación digital desde el núcleo de las empresas, hacia los clientes.

En la actualidad la región refleja un potencial de mejora en la **definición de indicadores técnicos uniformes y una cultura digital sólida** que dificultan la evaluación precisa del progreso en la adopción de tecnologías digitales y la promoción de una cultura digital en la industria energética. Con el fin de hacer frente a estos desafíos, **la región debe invertir en el desarrollo de los conocimientos y habilidades digitales en el sector**. En este contexto, algunos **factores limitantes** destacados por parte de los agentes encuestados para el **avance de la transformación digital del sector, en orden de relevancia, son: la falta de una cultura digital, el desconocimiento y la resistencia al cambio**.

5. Colaboración público-privada para cadenas de valor digitales en el sector. La necesidad de un notable despliegue de tecnologías digitales para llevar a cabo con éxito el proceso transformador, puede traccionar el desarrollo de una industria de proximidad más moderna y orientada a las necesidades sectoriales, como la evolución del sector de la fabricación de bienes de equipo. Para esto también se necesita la inversión del sector privado.

En este sentido, regiones como Europa y Estados Unidos, han puesto en marcha iniciativas transectoriales para reindustrializar sectores que progresivamente fueron perdiendo potencial industrial en favor de otras regiones.

Particularmente, la región de ALC presenta importantes ventajas con respecto a otras regiones: la **presencia en su territorio de recurso renovable y reservas de minerales estratégicos de interés para los nuevos modelos de negocio energéticos**. Esto puede conducir a un impacto positivo en la sociedad a través de la creación de empleos cualificados y oportunidades de industrialización.

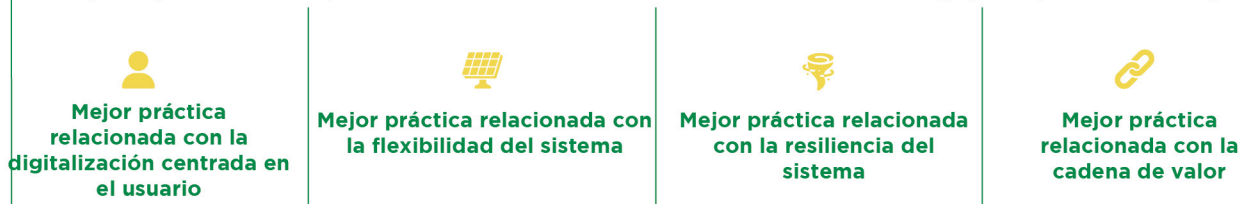
Sin embargo, el **despliegue** de estas prácticas debe ser **progresivo y distribuido en el medio plazo y en el largo plazo**, con el fin de **desbloquear el gran potencial de desarrollo del sector energético**. La siguiente ilustración, desarrollada en la Sección 7, ordena, por prioridad temporal y por impacto en la transformación digital, las mejores prácticas identificadas:

Criticidad para garantizar el éxito del proceso de transformación digital



Medio plazo (Horizonte 2030)

Largo plazo (Horizonte 2050)



Este potencial desarrollo está ligado al **despliegue tecnológico** y de las **funcionalidades asociadas** para lograr una mayor participación del usuario en los mercados energéticos; un sistema energético más eficiente y limpio a través de la flexibilización del sistema para la introducción de tecnologías de generación renovables; una mayor protección de los sistemas frente a los desastres naturales y los ciberataques, aumentando su resiliencia; y, una cadena de valor con una mayor relevancia en la región.



01

Introducción



La **transición energética**, que está sucediendo a nivel global, y sus objetivos asociados de reducción de emisiones, **afecta con gran intensidad al sector energético debido a su alta implicación en la emisión de dióxido de carbono** al ambiente durante las etapas de generación de energía, y en posteriores etapas de la cadena de valor. Estos objetivos globales son en gran parte una consecuencia del Acuerdo de París, un tratado jurídicamente vinculante firmado en el año 2015 por más de 190 países, cuyo objetivo principal consiste en limitar el calentamiento global a 2 °C a través de la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera.



Por lo tanto, el sector energético se encuentra desde hace años sumido en un proceso de transformación hacia nuevos modelos de negocio y gestión que son el reflejo, entre otras, de: (i) un **progreso tecnológico**, aplicable a todos los ámbitos de la sociedad, y del que el sector puede beneficiarse para el **despliegue de soluciones de digitalización** y (ii) un profundo cambio en la **conciencia social**, que supone una tendencia hacia **modelos más sostenibles y descentralizados** en los que el usuario tenga un mayor control e información para consolidarse como un agente más en los mercados energéticos.



Figura 1. Principales cambios en los sistemas energéticos actuales. Fuente: Elaboración propia, adaptado a partir de informe “Visión FutuRed 2050” (Futured, 2020).

Estos objetivos de descarbonización están resultando en la **sustitución progresiva de los combustibles fósiles** por electricidad procedente de fuentes renovables o por otros vectores energéticos, como el hidrógeno verde u otros gases renovables. Este cambio a nivel sectorial se está produciendo en un contexto de electrificación de los consumos energéticos.

Aunque este proceso de descarbonización de los procesos de producción de energía y los usos finales de la misma supone un **desafío** a nivel sectorial, también existen una serie de potenciales oportunidades asociadas. Entre ellas, cabe destacar la reducción del LCOE (coste normalizado de la energía) de las tecnologías de generación renovable, que hacen más asequible su despliegue, o procesos como la transformación digital, que hacen avanzar al sector hacia modelos energéticos más eficientes.

En este contexto, cabe señalar que la **transformación digital** es un proceso que va más allá de la **introducción de tecnologías avanzadas**, ya que implica también un profundo cambio que abarca tanto la **actualización de herramientas y sistemas**, como la transformación de la cultura organizacional y las interacciones sociales en las empresas y con el resto de los agentes.

De igual forma, la transformación digital no se trata de un proceso puntual, sino que se trata de un **proceso continuo** que implica la evolución constante de las tecnologías disponibles y que **no tiene unos límites predefinidos**. Asimismo, este proceso requiere periodos prolongados para el despliegue tecnológico que, a menudo, derivan en la coexistencia de tecnologías con diferentes grados de madurez. El primer paso para lograr una transformación eficiente consiste en analizar los costes y beneficios que supondrá el desarrollo tecnológico, así como considerar las potenciales dificultades para su implantación.

Desde el punto de vista tecnológico, este proceso se desarrolla en dos ámbitos: (i) el ámbito del **dato**, es decir la adquisición de información de calidad en todos los puntos de la red en “tiempo real”, a partir del despliegue de tecnologías de **sensorización**, que permite al consumidor una mayor interacción con los sistemas energéticos; y (ii) el ámbito de la toma de decisiones a través del **procesamiento de estos datos**, que se vale de la metodología de análisis de datos, y se ejecuta a través del **despliegue de actuadores y comunicaciones que incorporen protocolos estandarizados**¹.

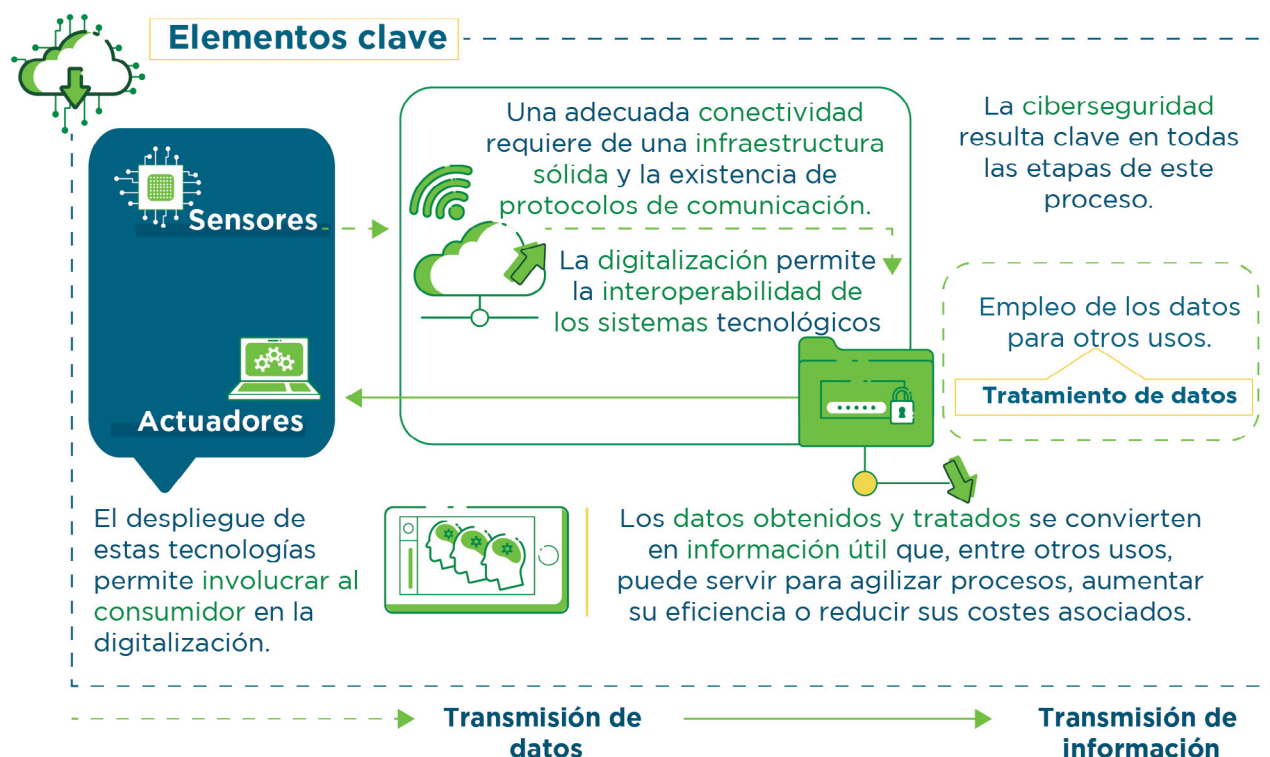


Figura 2. Elementos clave para la transformación digital del sector energético. Fuente: Elaboración propia.

El reciente desarrollo digital del sector energético está ligado con el de las tecnologías de la información y su evolución constante en las últimas décadas a partir de tres conceptos: interacción, información y computación (Deloitte, 2023). Cabe señalar que, el inicio de la implementación de estas tecnologías en el sector energético ha sido variable según la región y ha tenido una evolución exponencial hasta el momento actual, muy vinculada al desarrollo del mundo de las telecomunicaciones en todos los ámbitos de la sociedad. En la Unión Europea los inicios de su despliegue se sitúan, aproximadamente, en el año 2008 cuando la Comisión adoptó un Plan Europeo de Recuperación Económica, que ponía el foco en la necesidad de invertir en eficiencia energética y tecnologías limpias. En este contexto, la Comisión propuso, en la Comunicación “Invertir hoy en la Europa de mañana”, un paquete de medidas para encauzar el apoyo financiero hacia la energía y las redes de banda ancha de alta velocidad (Comisión Europea, 2009).

¹ Este capítulo “1. Introducción” ha sido elaborado en base al conocimiento y la experiencia laboral adquirida por los especialistas participantes en el proyecto.

Indudablemente, la interacción con las tecnologías de la información se ha vuelto progresivamente más sencilla, intuitiva e incluso inmersiva. A lo largo de los años, la información tratada y producida por la tecnología ha evolucionado desde meros cálculos numéricos hasta análisis predictivos, algoritmos e Inteligencia Artificial que permiten tomar decisiones fundamentadas en datos. En este contexto, cabe señalar también cómo se han ido abaratando los costes de forma progresiva de la adquisición y transmisión de datos.

En lo que respecta, en particular, al sector eléctrico, la IEA estima que la digitalización representaba un ahorro en costes, a nivel global, de más de 80 billones de dólares americanos al año, es decir, el 5% de los costes totales anuales de generación de energía (International Energy Agency, 2017). Dicho ahorro de costes se reparte tal y como se muestra en la **Figura 3**.

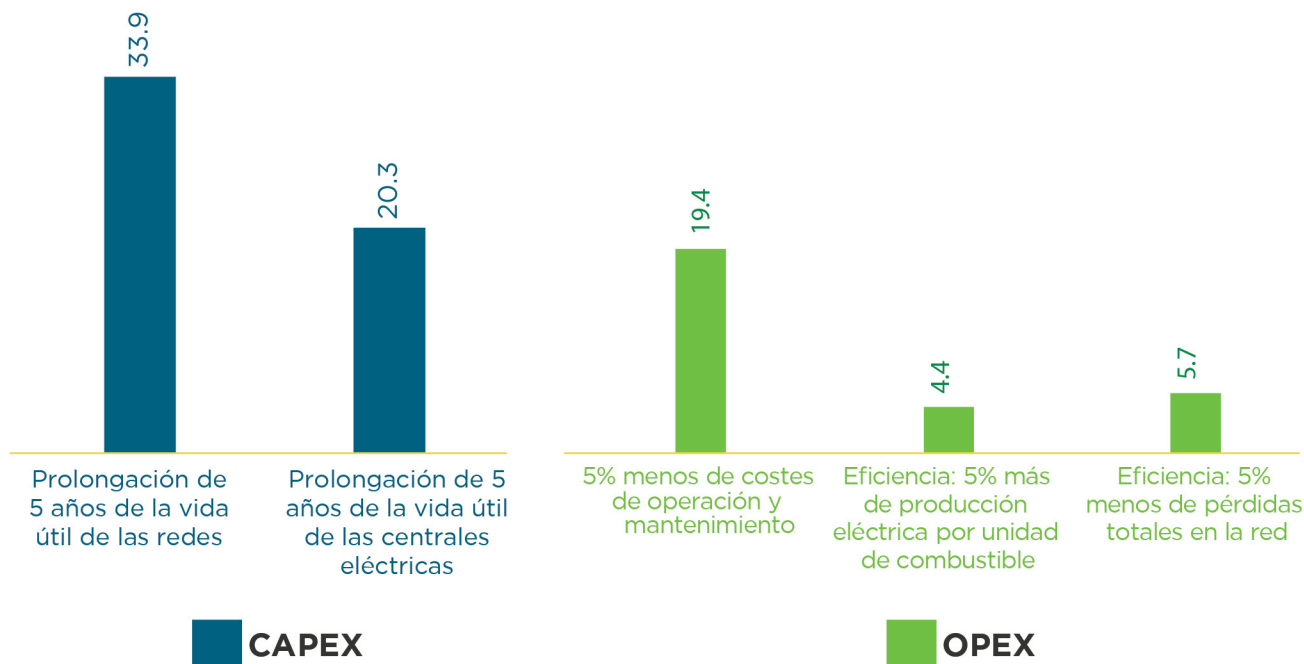


Figura 3. Ahorro potencial de costes en el sector eléctrico, como consecuencia de la digitalización, en billones de dólares americanos (International Energy Agency, 2017)

Adicionalmente, es preciso indicar que esta **necesaria** transformación digital se ve impulsada por **cuatro pilares básicos** que han supuesto la base de la propia transformación y modernización del sector: (i) un progresivo **aumento de la participación de los usuarios** en los sistemas energéticos, como agentes activos en los mercados, (ii) una **transición hacia modelos energéticos de generación más sostenibles y flexibles**, (iii) la necesidad de un **sistema energético resiliente** ante los fenómenos naturales cada vez más extremos y los riesgos cibernéticos, (iv) una **cadena de valor sólida y de proximidad**. Para cada uno de estos pilares, se ha procedido a identificar las mejores prácticas en los países analizados en el ámbito de la digitalización²:

² Este capítulo “2.1. Pilares que garantizan el desarrollo de la digitalización en el sector” ha sido elaborado en base al conocimiento y la experiencia laboral adquirida por los especialistas participantes en el proyecto.



Digitalización centrada en el usuario ▶

La **digitalización centrada en el usuario** constituye un área clave en el proceso de transformación digital del sector, motivado por el empoderamiento al consumidor que está teniendo lugar en el nuevo escenario energético. Actualmente, la tendencia del sector es avanzar hacia un consumidor más informado, con capacidad de participación activa en los mercados energéticos y que demanda nuevos servicios como el autoconsumo, la recarga de vehículo eléctrico o avances en materia de eficiencia energética en su vivienda. Para avanzar en ello, la captura del dato digital, su procesamiento y la posterior toma de decisiones será clave.

◀ Flexibilidad del sistema para incorporar renovables



El sector demanda cada vez mayor **flexibilidad del sistema para incorporar tecnologías de generación renovables** que garanticen la progresiva descarbonización de los sistemas energéticos, a través de la modernización de las infraestructuras energéticas, con la incorporación de tecnologías digitales a lo largo de la cadena de valor, y la penetración de nuevos vectores energéticos, como los gases renovables. En este sentido, la transformación digital contribuirá a eliminar las barreras relacionadas con la generación vinculada a recursos renovables, tales como la intermitencia en la producción o la congestión de las redes energéticas de evacuación.



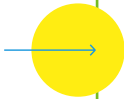
Resiliencia de los sistemas energéticos ▶

La **resiliencia de los sistemas energéticos** es cada vez un área más crítica para el sector, motivado principalmente por la creciente intensidad de los fenómenos climáticos naturales, que constituyen un riesgo cada vez mayor para la infraestructura energética, y adicionalmente, por la propia transformación digital que deriva en potenciales riesgos cibernéticos que pueden amenazar la integridad del sistema energético.

◀ Impacto en la cadena de valor

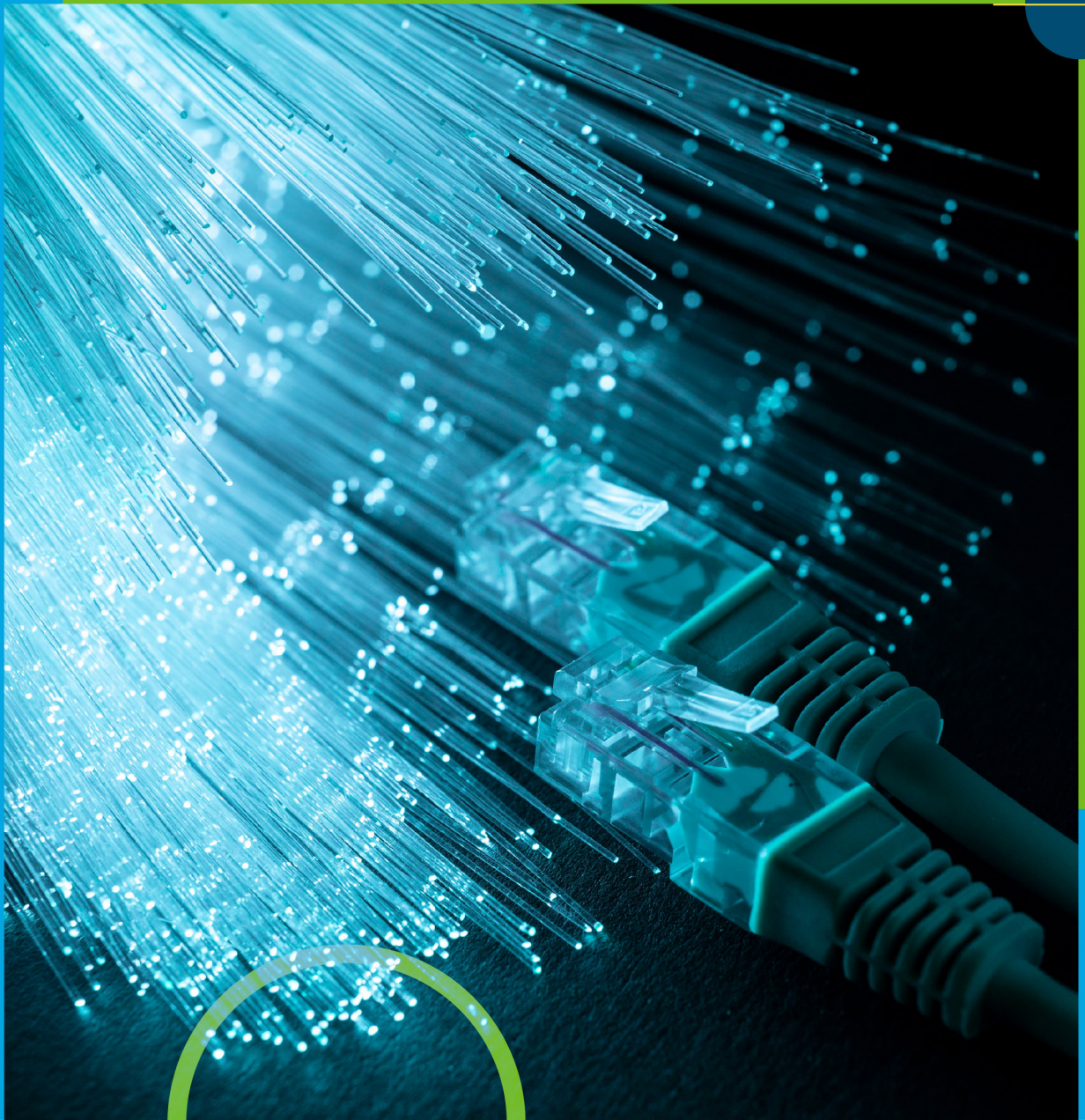


Los últimos acontecimientos como el COVID-19 o la inestabilidad geopolítica mundial, ha provocado un tensionamiento de las cadenas de suministro. Por ello, el éxito de transformación digital del sector también recaerá en el **impacto que tenga la digitalización a lo largo de la cadena de valor del sector**, en cuanto a que, por ejemplo, determinados procesos, como el suministro de equipos digitales y tecnológicos puedan verse afectados y/o retrasados por una fuerte dependencia industrial exterior.



La transformación digital, enfocada desde estos cuatro pilares brinda al sector energético las herramientas y tecnologías necesarias para afrontar una serie de cambios estructurales, consecuencia de los ambiciosos objetivos de descarbonización y un cambio en la cultura, cada vez más digital y sostenible.

Por tanto, la progresiva incorporación de tecnologías digitales bajo la consideración de estos cuatro pilares supondrá un punto de partida para lograr, progresivamente, el cumplimiento de los objetivos a nivel sectorial. En este sentido, los próximos capítulos analizarán cuáles son las tecnologías más disruptivas, un análisis de las mejores actuaciones en países referentes y las mejores prácticas aplicables para fomentar la transformación digital en la región de ALC.



02

Tecnologías para la digitalización del sector energético









Con el fin de entender el proceso de transformación digital y las oportunidades inmersas en el despliegue de las diferentes tecnologías digitales disponibles en el mercado, es clave conocer las posibilidades que ofrece cada una de ellas. En este sentido, actualmente existen numerosas **tecnologías emergentes y disruptivas** en el sector energético, que están siendo implementadas progresivamente, y que cubren numerosas aplicaciones **para el desarrollo de los pilares básicos de la transformación digital.**



La aplicación de las tecnologías disruptivas a los cuatro pilares

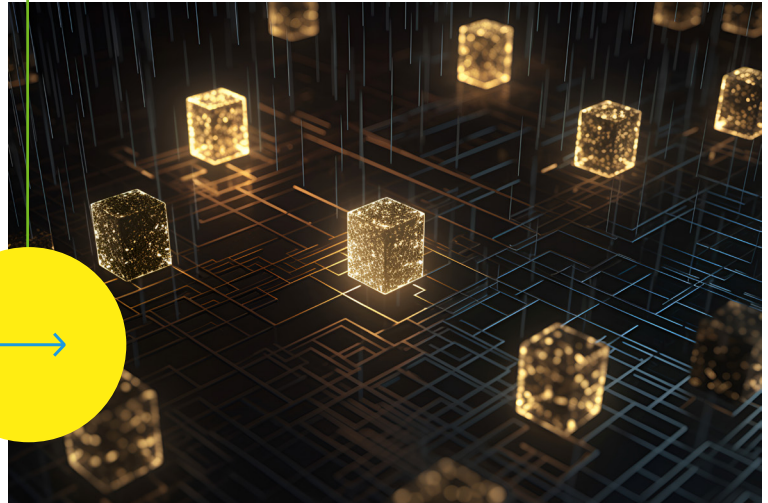
El grado de avance del proceso de transformación digital y la penetración de tecnologías digitales punteras, varía principalmente de la madurez del marco normativo y el volumen de inversión en el sector energético de cada país, junto a otras variables que se detallaran en capítulos posteriores. En este sentido, las tecnologías más emergentes y disruptivas, están ya presentes en los sistemas energéticos más avanzados y maduros a nivel mundial, dando lugar a destacables beneficios tanto para los agentes que desarrollan su actividad en el sector, como para los consumidores. Desde el punto de vista de este análisis, se ha analizado cómo contribuyen estas tecnologías a cada uno de los cuatro pilares de la transformación digital.

	 Digitalización centrada en el usuario	 Flexibilidad del sistema para incorporar renovables	 Resiliencia de los sistemas energéticos	 Impacto en la cadena de valor
Blockchain	●	●	○	●
Big data	●	●	●	○
Cloud computing	●	●	●	○
Sensorización	●	●	●	○
Advanced Metering Infrastructure (AMI) & Smart Meters	●	○	○	○
Inteligencia Artificial (IA)	●	●	●	●
Gemelo Digital	○	●	●	○
Internet of Things (IoT)	●	●	●	●
Robotización	○	●	●	●
Drones	○	●	●	●
Realidad Aumentada	●	●	○	○
Conexión 5G	●	●	●	○
Fibra óptica	●	○	○	○
Edge Computing	○	●	●	○
Ciberseguridad	●	●	●	●

Cuadro 1. Clasificación de tecnologías emergentes innovadoras en el sector energético. Fuente: Elaboración propia.

El cuadro anterior, por tanto, permite contextualizar el posterior desarrollo y dar una visión holística de la transformación digital del sector a través del despliegue de tecnologías habilitadoras en cada pilar. En el **Anexo A**, se desarrolla en detalle la función de cada una de éstas, y las posibilidades de desarrollo que habilitan en el sector energético. Asimismo, las mejores prácticas identificadas para cada pilar están relacionadas íntimamente con el despliegue de las tecnologías digitales reflejadas.

Disponer de las tecnologías más avanzadas permite al sector el desarrollo de soluciones digitales, con el fin de lograr una mayor eficiencia energética, la optimización de los recursos, una mayor calidad de suministro y la innovación en el sector.





03

Principales tendencias en el sector energético a nivel global



Con el fin de identificar algunos casos de éxito en países con un mayor grado de avance en transformación digital, así como su potencial replicabilidad, se ha procedido a la selección de seis países en base a criterios como:

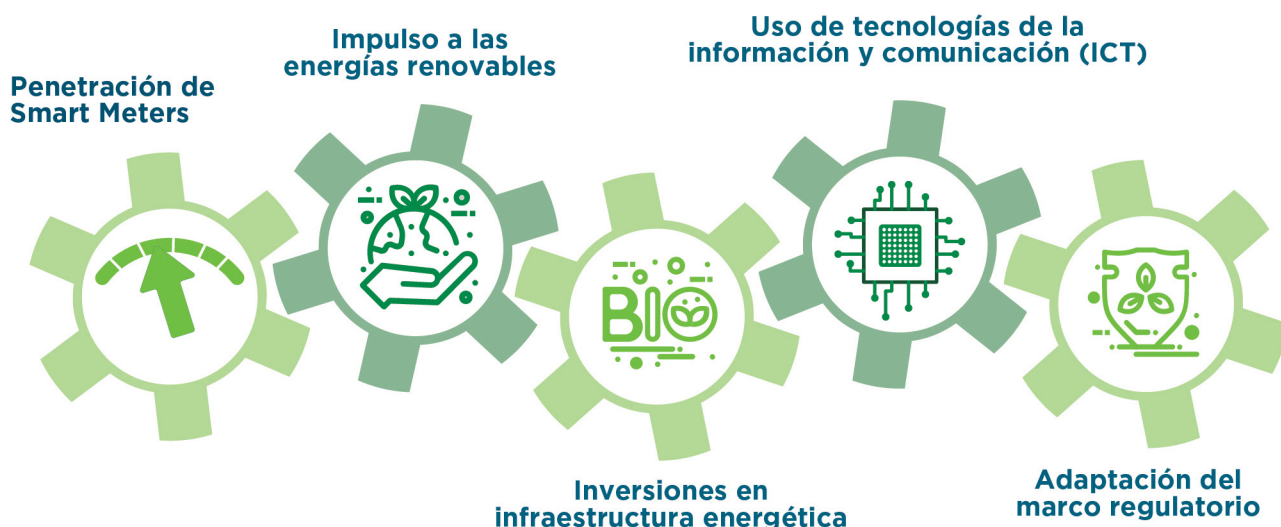


Figura 4. Parámetros de selección de países. Fuente: Elaboración propia.



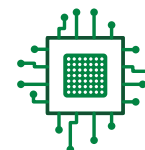
Grado de Penetración de Medidores inteligentes: el despliegue de contadores inteligentes es uno de los principales avances digitales e indicador clave del grado de digitalización de las redes energéticas, puesto que permite el acceso y uso de los datos de los consumidores energéticos para optimizar la planificación y operación de las redes energéticas.

Impulso a las energías renovables: nivel de despliegue de tecnologías de generación renovables, como solar o eólica, e integración de éstas con los sistemas energéticos (redes, infraestructuras, etc.).



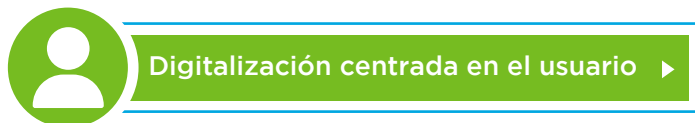
Inversiones en infraestructura energética: nivel de inversión en la modernización de las redes energéticas. Incluye igualmente la valoración del despliegue de inversiones en automatización, y tecnologías de control, así como el desarrollo de Smart grids.

Uso de tecnologías digitales emergentes y tecnologías de la información y comunicación (TIC): valoración del despliegue de tecnologías innovadoras en el ámbito de la comunicación y operación de redes energéticas. Incluye la valoración en el desarrollo de software de gestión de las redes energéticas, despliegue de herramientas cloud y data analytics.



Adaptación del marco regulatorio: valoración del grado de madurez regulatoria, con el objetivo de brindar seguridad a las inversiones en infraestructuras y estimular la inversión en la modernización digital del sector energético.

Como consecuencia de ello, se han seleccionado los siguientes países: Estados Unidos, España, Portugal, Italia, Reino Unido y Corea del Sur. Dichos países han experimentado importantes avances en materia de transformación digital, los cuales se abordarán a continuación, desde la óptica de los cuatro pilares definidos. Asimismo, en el Anexo B del presente documento, se presenta un mayor detalle sobre los análisis y contactos realizados a los principales agentes de estos países, privados, públicos e institucionales, universidades, centros de investigación y fabricantes.



La transformación digital está habilitando la progresiva transformación del sector energético hacia un modelo más distribuido, inteligente, multidireccional y flexible, con una mayor participación de los usuarios en su propia generación, almacenamiento y en los mercados energéticos, a través de la figura del prosumidor.



Figura 5. Principales tendencias en torno a la transformación digital centrada en el usuario. Fuente: Elaboración propia.

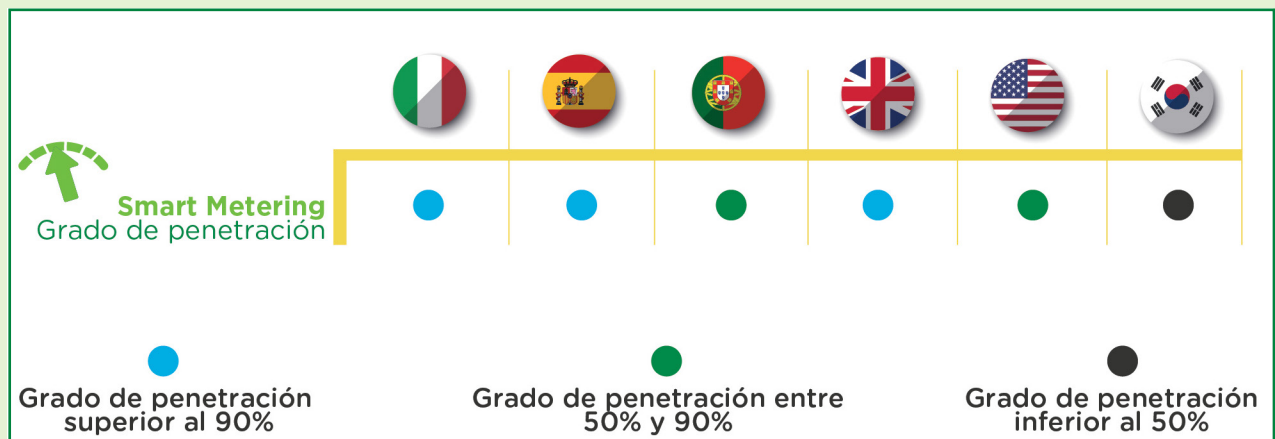
En este nuevo escenario, se ha identificado como común en los países líderes en transformación digital, una tendencia clara: la **captación de datos con ayuda de la tecnología digital** constituye un primer paso para dotar de inteligencia los elementos de los sistemas energéticos accesibles a los consumidores y habilitar el desarrollo de nuevos modelos de negocio en las redes energéticas.

Por ello, en este escenario, el despliegue de **Medidores inteligentes** es fundamental, y está derivando en intensos beneficios para el sistema en su conjunto, de cara a disponer de datos inmediatos, accesibles y fiables que faciliten la toma de decisiones tanto por parte del cliente, como del Gestor de la Red. Asimismo, su despliegue permite contar con un sistema energético más conectado, moderno y eficiente, y que garantice la base para el posterior desarrollo de Smart grids u otros nuevos modelos de negocio como los servicios en eficiencia energética, muy desarrollados en el Reino Unido.

El despliegue eficaz de esta tecnología en el sector está motivado por factores como: (i) la existencia de un marco regulatorio incentivador; (ii) el desarrollo de tecnologías de información que faciliten e integren los equipos con el resto de la infraestructura energética; (iii) el uso de herramientas de procesamiento potentes que garanticen el tratamiento y procesamiento de los datos de consumo; y (iv) el desarrollo de una arquitectura tecnológica resiliente y con apoyo en tecnologías de la nube - Cloud computing -.

Grado de penetración de medidores inteligentes en el sector eléctrico

Italia, España, Reino Unido, Estados Unidos, Portugal y Corea del Sur presentan diferencias en cuanto al grado de implantación de medidores inteligentes en sus redes eléctricas. Estas diferencias se deben, en parte, a cómo reportan los datos, ya sea en relación con la renovación de los medidores inteligentes ya instalados o con la implementación inicial de esta tecnología. A pesar de ello, en el Cuadro 5 se muestra una comparación del grado de avance en el despliegue de medidores inteligentes en cada país según datos a 2020 y, a continuación, se detalla cómo cada país ha alcanzado su grado de avance en este ámbito:



Cuadro 2. Grado de avance del Smart metering en países seleccionados. Fuente: Elaboración propia.

En este sentido, **Italia** fue el país pionero en la instalación y tecnología de Smart metering (Eurelectric, 2018). En 2006, anunció su primera directiva por la entidad reguladora (ARERA), que establecía la instalación obligatoria de contadores inteligentes en el país, con características técnicas mínimas a partir de 2008. Esta acción del regulador, que contó con la colaboración positiva del sector privado, permitió un despliegue exitoso, alcanzando una penetración del 95% de contadores digitales en 2011 – únicamente por detrás de Suecia a nivel europeo - con el objetivo de conseguir, progresivamente, un mayor ahorro energético al hacer consciente al cliente de su consumo en tiempo real. Para 2025, al menos el 90% de los puntos de suministro deberán estar equipados con contadores de segunda generación y el 96% en 2026. A finales de 2021, cerca de la mitad de los contadores 1G ya habían sido sustituidos por los de 2G (International Energy Agency, 2023b). Actualmente, Italia se encuentra planificando ya la tercera fase de despliegue de contadores inteligentes, centrada en la interacción con otros elementos de red, a través de sistemas de información como el Cloud computing.

La misma dinámica fue la que siguió **España** con posterioridad. En concreto, España comenzó su primera ola de sustitución de medidores inteligentes en 2008 bajo el Plan de Sustitución de Equipos de Medida impulsada por la actualmente denominada Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (Regulador) con el objetivo de lograr casi la totalidad de penetración de contadores teledirigidos y telegestionados, hito que consiguió a finales de 2018. Actualmente, junto con Italia, España se considera uno de los países más avanzados en cuanto a la digitalización del sector, ya que, a finales del 2019, ya se había conseguido una tasa de integración del 99,4% (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2020).

Otras naciones europeas, como **Portugal**, cuenta con tasas moderadas de despliegue a la fecha. En 2020, el número de medidores inteligentes desplegados era de 2 millones - 52% del total de contadores (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, 2020)-; existiendo el objetivo por parte de la principal empresa de distribución de energía en alcanzar un volumen aproximado de 6,2 millones de medidores inteligentes para 2025 (International Energy Agency, 2021a). Sin

embargo, en los últimos años se ha impulsado significativamente este despliegue, alcanzando en el año 2022, según E-REDES, más de 4 millones de medidores inteligentes, esto es, más del 66% del parque de suministros eléctricos.

El caso portugués ejemplifica la importancia de modernizar todas las infraestructuras relacionadas cuando se implementan elementos digitales en el sistema energético. En Portugal, la falta de avances en sistemas de transmisión de información y conectividad en sus redes de energía ha impedido la adopción generalizada de medidores inteligentes. Esto se debe a que el despliegue de contadores inteligentes debe ir de la mano con la actualización o sustitución de la infraestructura eléctrica existente.

Por otro lado, **Reino Unido** se encuentra igualmente rezagado en el despliegue de medidores inteligentes, aunando una cuota de renovación del 57% (UK Department for Energy Security and Net Zero, 2023). Si bien, para combatir el bajo porcentaje de renovación del parque de contadores han puesto en marcha programas disruptivos de incentivos económicos a proyectos de sistemas de medidores inteligentes basados en el Internet de las Cosas. Estas medidas de choque, con financiación y no únicamente regulación, pueden producir un mayor interés del sector privado, y garantizar niveles de éxito reseñables en un espacio corto de tiempo.

En el caso de **Estados Unidos**, el programa Smart Grid Investment Grant incentiva económicamente al desarrollo de soluciones de medición avanzada, y ha llevado a alcanzar un porcentaje de despliegue del 69% (U.S. Energy Information Administration, 2022a).

Este programa está diseñado para aumentar la flexibilidad, eficiencia y fiabilidad del sistema energético, con especial atención, en el ámbito del consumo, la integración de la capacidad renovable distribuida, así como los vehículos eléctricos, los edificios inteligentes y otros dispositivos.

Se prevé que el programa Smart Grid Investment Grant invierta hasta 3.000 millones de dólares (600 millones al año durante los ejercicios fiscales 2022-2026) en tecnologías y soluciones de resiliencia (U.S. Department of Energy, 2022a).

Por último, en relación con **Corea del Sur**, su despliegue avanza lentamente. En 2019, se habían desplegado ya 8,48 millones de contadores, y se esperaba que el despliegue completo de 22,5 millones de contadores se produjese durante 2020 (International Energy Agency, 2020a) - actualmente Corea del Sur, cuenta con aproximadamente 52 millones de habitantes -. Si bien, el proyecto de despliegue ha sufrido retrasos como se preveía en los análisis efectuados sobre el despliegue de Smart meters & AMI (International Energy Agency, 2020a) en Corea del Sur, actualmente se encuentra en una fase ya más avanzada. Corea del Sur ha sido de los primeros países asiáticos en desplegar iniciativas relacionadas con las Smart Grids, destacando su “Smart Grid Initiative”, que se dirige principalmente a la modernización de los sistemas de energía eléctrica del país, impulsando el desarrollo, demostración y expansión de tecnologías de redes inteligentes.. Posterior a esa iniciativa, ha puesto otras en marcha como la “Ley de Promoción del Establecimiento y Uso de Redes Inteligentes” para establecer la base regulatoria para construir una red inteligente a nivel nacional. La hoja de ruta nacional de red inteligente desarrollada por Corea de Sur tiene cinco áreas de implementación: smart consumer, smart transport, energías renovables inteligentes, red eléctrica inteligente y servicios eléctricos inteligentes. Junto a esta hoja de ruta, KEPCO está desarrollando un avanzado sistema de monitoreo de distribución de energía para prepararse para la variabilidad de la generación renovable en el país (International Energy Agency, 2020a).

Este análisis refleja que los países analizados consideran los medidores inteligentes como un instrumento facilitador para el desarrollo de la transformación digital a través de conceptos más amplios que habiliten nuevos modelos de negocio en la red que pongan al usuario en el centro.

Asimismo, y como un grado más de avance tras el despliegue de medidores inteligentes, **el desarrollo de Smart Grids resulta clave para el sector**. Este debe ir acompañado de la introducción de sistemas tecnológicos, como el Internet de las Cosas, y una mejora de las comunicaciones inteligentes y la conectividad, introduciendo tecnologías como la fibra óptica o el 5G que, en su conjunto, permitan la **existencia de flujos bidireccionales de electricidad** facilitando el desarrollo del sector energético hacia nuevos modelos de negocio que pongan al usuario en el centro.

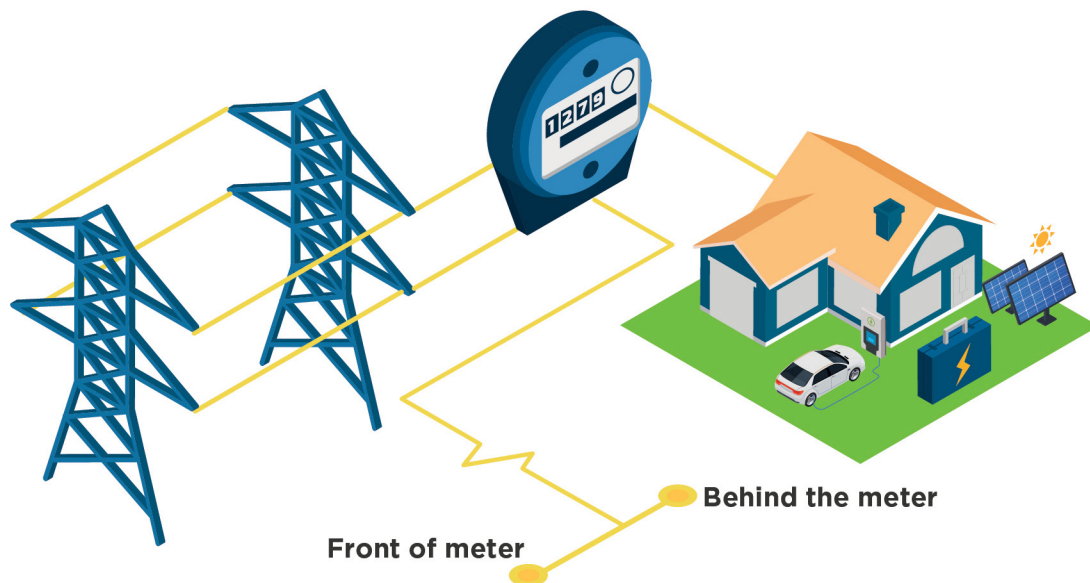


Figura 6 Los modelos de negocio behind-the-meter. Fuente: Elaboración propia.

Dichos **modelos de negocio**, como el autoconsumo, el almacenamiento o la movilidad eléctrica, se despliegan **behind-the-meter** y se espera que sigan creciendo para cumplir con los ambiciosos objetivos marcados a medio y largo plazo, por ejemplo, alcanzar los 5 millones de coches eléctricos para 2030 en España. Su despliegue confiere al usuario una mayor presencia y capacidad de gestión dentro del sector y requiere, para que ésta sea eficiente, la implementación de soluciones digitales de acceso, transmisión y análisis de datos.

En este contexto, la gestión de los consumos behind-the-meter o submetering contribuye a una mejora de la eficiencia energética de las instalaciones (identificación de patrones de consumo, incorporación de medidas de eficiencia y ahorro energético, gestión óptima de equipos instalados, etc.) y a un empoderamiento del consumidor. Con ello, los dispositivos se encontrarán completamente sincronizados e interconectados y el consumidor podrá decidir en cada momento que acciones tomar. Esto es especialmente relevante en aquellos países en los cuales existe un grado de digitalización mayor. Asimismo, la disponibilidad de información detallada que se habilita gracias al submetering permitiría el desarrollo de otros modelos de negocio como microrredes o comunidades energéticas en las que los usuarios intercambien energía a través de la venta P2P (Peer-to-peer).

Todos estos desarrollos tecnológicos no son posibles sin la existencia de un **marco regulatorio estable que aporte seguridad e incentive la inversión en avances tecnológicos y el despliegue de nuevos modelos de negocio**. Sin embargo, de forma generalizada, éste se desarrolla a una menor velocidad que el sector, creando a una barrera al despliegue de la digitalización. En este sentido, instrumentos como los bancos de pruebas regulatorios cobran importancia y tienen un doble beneficio, para el regulador y para el sector privado: (i) por un lado, permite a las empresas disponer de un entorno controlado sin barreras regulatorias para probar la validez de sus soluciones y (ii) por otro lado, permite al regulador acortar los plazos para el desarrollo de un marco regulatorio, que habilite el despliegue de tecnologías y la innovación en el sector, gracias a la identificación, por parte de las empresas, de las principales barreras regulatorias.

Con todo ello, cabe señalar que la digitalización centrada en el usuario cuenta con aspectos clave para su despliegue, desde la incorporación de tecnologías que permitan el acceso a los datos, hasta la regulación como herramienta de incentivo al desarrollo de las soluciones más innovadoras y disruptivas.

Medidas positivas de interés identificadas en otras regiones

La digitalización centrada en el usuario, basada en las mejores prácticas observadas en los países analizados, se apoya en varios puntos clave. En primer lugar, **se promueve el desarrollo de planes para implementar Smart metering y la renovación de los medidores existentes como punto de partida** para el desarrollo de conceptos más relevantes para el sector como son las Smart grids. Además, se establece un marco regulatorio estable que proporciona seguridad jurídica a los inversores y fomenta la financiación de la transformación digital. El sector privado desempeña un papel fundamental al invertir en planes que impulsen la evolución hacia un modelo energético centrado en la digitalización y el usuario. Para estimular aún más esta transición, **se implementan incentivos regulatorios y económicos que facilitan la integración de soluciones y tecnologías digitales**, fomentando así la aparición de nuevos modelos de negocio.

Por último, se trabaja en la **eliminación de obstáculos que puedan limitar el acceso y el análisis masivo de los datos generados por los sistemas energéticos**. Esto se hace con un enfoque en la protección de los derechos de los consumidores y la seguridad de los datos, garantizando así un entorno propicio para la digitalización en el sector energético.



Flexibilidad del sistema para incorporar renovables ▶

Dentro de un contexto social en el que la transición energética adquiere un papel cada vez más relevante, tanto a nivel global como nacional, se están estableciendo objetivos más ambiciosos en cuanto a la descarbonización en los planes y estrategias.

De esta manera, el mix energético se encuentra en un **proceso de transformación constante hacia un mix más sostenible en el que las tecnologías de generación renovable cada vez tienen un mayor peso**, en línea con los objetivos de aumento de la capacidad instalada a 2030, llegando a cubrirse, con frecuencia, en países como España, casi la mitad de la demanda con energía procedente de fuentes renovables.

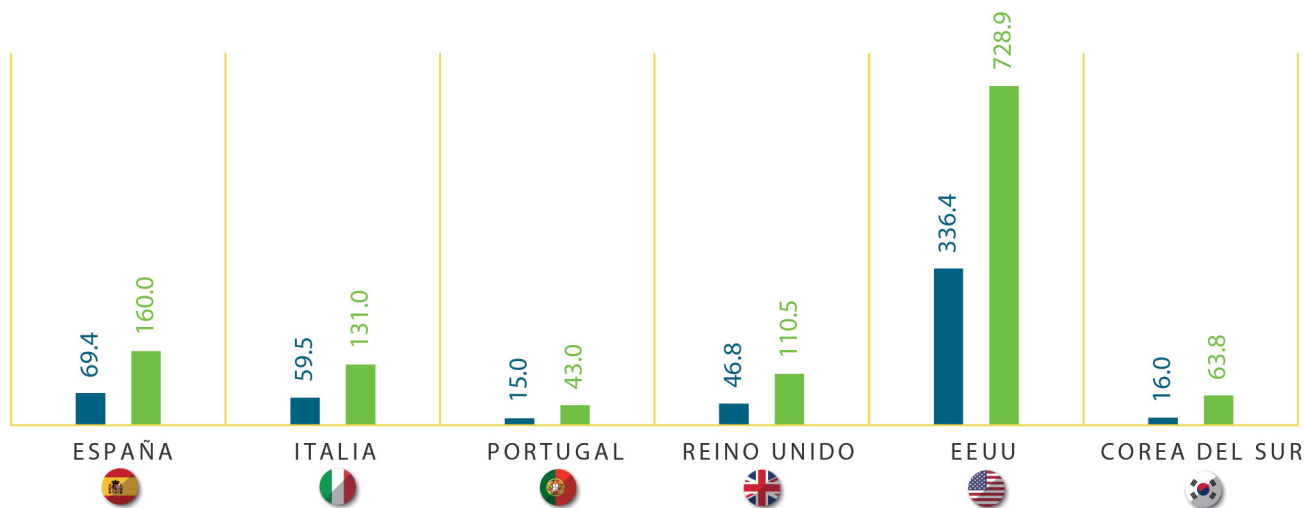


Figura 7. Previsión de capacidad renovable a 2030. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Comisión Europea, REE, Terna, U.K. Government, GlobalData, EIA, EnerData, IEA.

Esto supone un desafío para las redes energéticas al tener que absorber una generación intermitente y más distribuida que en los modelos de generación tradicionales. En este contexto, el **proceso de transformación digital en el ámbito energético**, mediante el empleo de tecnologías avanzadas y sistemas inteligentes, representa una poderosa **herramienta que permite optimizar la generación, distribución y consumo de energía renovable** de manera eficiente y sostenible, y limitar los retos de la integración de plantas de generación muy distintas entre sí (desafío de integración territorial de plantas de generación en territorios alejados de la demanda), o concentradas en polos donde el recurso renovable sea mayor (desafío de congestión de nudos en las redes energéticas).

El estado actual de la flexibilidad de la red para incorporar renovables

Los aspectos que definen el **estado actual** de este proceso de transformación digital en los **países seleccionados** son: (i) el **despliegue de incentivos económicos o regulatorios** para el desarrollo de soluciones en el marco de la transformación digital, (ii) el **desarrollo de estrategias y planes de acción para la digitalización** o (iii) la **implementación de medidas de flexibilización**, entre otros.

Por un lado, para poder disponer de una infraestructura de red digitalizada con las tecnologías más innovadoras, se requiere de un fuerte despliegue de inversiones, como el ejecutado por **Estados Unidos** en 2022, dónde se han invertido 141 billones de dólares en la transición energética. El **apoyo público, con recursos y políticas de estímulo**, tiene un carácter **incentivador** para lograr los objetivos marcados.

Por todo ello, es necesario el establecimiento de **esquemas regulatorios incentivadores y de inversión** como los impulsados por **España e Italia** dentro de sus Planes de Recuperación y Resiliencia. En concreto, España ha habilitado ayudas por importe de 525 millones de euros para el despliegue digital en las redes energéticas (Gobierno de España, 2021). En el caso de Italia, se han destinado 3.610 millones de euros, para mejorar la fiabilidad, seguridad y flexibilidad del sistema energético nacional, con el fin de aumentar la cantidad de energía procedente de fuentes de energía renovables hasta al menos 4.000 MW, electrificar al menos a 1.500.000 consumidores y abrir nuevos escenarios en los que los prosumidores, los consumidores-productores de energía, también puedan desempeñar un papel importante, apoyándose en un despliegue tecnológico digital y de comunicaciones innovadoras incluido en el propio Plan (fibra óptica, 5G etc.) (Governo Italiano, 2021).

El **Gobierno portugués** también está tomando medidas para aumentar la flexibilidad del sistema eléctrico, como el despliegue de redes inteligentes y proyectos piloto de tarifas dinámicas y participación en el mercado de respuesta a la demanda (International Energy Agency, 2021a). Así pues, el Gobierno de Reino Unido, publicó en 2021, su primera estrategia y plan de acción para la digitalización del sector energético, que buscaba mediante el liderazgo público, la colaboración con el sector para desarrollar herramientas digitales y garantizar que la regulación y las políticas incentivaran la digitalización del sector (UK Department for Energy Security and Net Zero, 2021).

Así pues, el **Gobierno de Reino Unido**, publicó en 2021, su primera estrategia y plan de acción para la digitalización del sector energético, que buscaba mediante el liderazgo público, la colaboración con el sector para desarrollar herramientas digitales y garantizar que la regulación y las políticas incentivaran la digitalización del sector (UK Department for Energy Security and Net Zero, 2021).

Igualmente, otros países como **Corea del Sur** han impulsado en años previos programas como el “Green Deal” o “Digital Deal”, que prevé inversiones por valor de 30 trillones de wones, para mejorar la infraestructura energética y la producción con tecnologías de generación renovable. También, se recogen inversiones en Smart grids, Smart metering y desarrollo tecnológico. Concretamente, las medidas propuestas incluyen la creación de una plataforma de Big data, la convergencia industrial con las redes 5G y el desarrollo de la Inteligencia Artificial en el sector energético (International Energy Agency, 2021). Esto contribuirá a que la cuota de electricidad generada a partir de fuentes renovables variables en Corea permita alcanzar los objetivos de 2030 y 2040 (porcentajes del 20 % y del 30-35 %, respectivamente) y, por tanto, se requiere un sistema eléctrico resistente y mucho más flexible, capaz de acomodar el creciente porcentaje de energías renovables variables y descentralizadas (International Energy Agency, 2020a).

Por ello, en este escenario, caracterizado por una operativa más compleja de los sistemas energéticos, es clave disponer de las tecnologías digitales más avanzadas y disruptivas que permitan hacer frente a sus desafíos asociados. Las funcionalidades de estas tecnologías deben cubrir tres ámbitos: la captación de datos de la red y su integración en la red, la mejora de las comunicaciones y la operación, el monitoreo, la toma de decisiones y la automatización, de la misma.

En este sentido, la integración de **tecnologías de sensorización** en el sector y su conexión a través de redes inalámbricas o cableadas de alta velocidad y disponibilidad, son esenciales para la **obtención de datos de los activos de las redes en tiempo real**.

Dichas tecnologías de sensorización en el ámbito de la generación de energía se presentan como un recurso valioso para la recopilación de datos sobre el rendimiento de los activos de generación. Esto es especialmente relevante en las tecnologías de generación renovables, donde su carácter intermitente convierte en más compleja su operación, y habilitan de igual forma la obtención de datos en sistemas de almacenamiento. De igual forma, la sensorización tiene importancia en la mejora de la eficiencia de las redes energéticas, especialmente en la detección de pérdidas técnicas y como ayuda para la localización de fraudes energéticos.

Una vez captados los datos, entran en juego tecnologías como el **Cloud computing**, que facilita la **comunicación y el intercambio de información** en tiempo real, lo que conduce a una toma de decisiones más rápida y eficaz durante la operación de las redes energéticas, y otras tecnologías de procesamiento de datos de forma local, como el **Edge Computing** que favorece la agilidad de la operación de las redes.



Asimismo, las conexiones **5G** habilitan la transmisión de información entre múltiples dispositivos de forma rápida y ágil entre recursos de generación completamente descentralizados, así como entre autoconsumos y centros de control con el objeto de tener una operación de las redes energéticas óptimas.

El análisis de estos datos captados a través de la sensorización supone la necesidad de otras tecnologías, como el **Big data**, para el **almacenamiento y análisis de gran volumen de datos** generados durante la operación del sistema energético. En particular, en el ámbito de la digitalización de las redes eléctricas, el *Big data* ha adquirido un protagonismo muy elevado en los últimos años como tecnología habilitadora para la captación masiva de datos en el contexto de las Smart grids o redes eléctricas inteligentes.

Por otro lado, existen una serie de tecnologías que tienen el objetivo de aumentar la automatización de los sistemas energéticos: **Inteligencia Artificial** y el **Gemelo Digital**.

En relación con la **Inteligencia Artificial**, cabe destacarse su carácter novedoso y las potenciales oportunidades que otorga al sector energético a futuro. Así, a futuro se prevé su uso en la operación automática de plantas de generación descentralizadas, de tal manera que a través de esta tecnología se puede regular la propia generación en base a los parámetros recogidos por los sensores habilitados en la infraestructura energética y realizar una ajustada previsión de la demanda. Igualmente, gracias a la unión de la Inteligencia Artificial con el desarrollo de gemelos digitales, se puede realizar simulaciones de condiciones de operación y mantenimiento de estas plantas. Actualmente, la Inteligencia Artificial es una de las tecnologías con mayor proyección a futuro. Se estima que el mercado vinculado a la Inteligencia Artificial crezca a una tasa anual de aproximadamente 39,4% entre el periodo 2022-2028 (Bloomberg, 2022).

En cuanto a los **gemelos digitales**, su uso es muy positivo en las primeras etapas de planificación y desarrollo del sistema energético, puesto que su capacidad de replicar virtualmente y en tiempo real los parámetros de generación y operación de las redes, permite simular, predecir y optimizar las infraestructuras energéticas en su conjunto. Si bien, el uso de gemelos digitales lleva implícito el despliegue de otras tecnologías como sensores y herramientas de conectividad como el Internet de las Cosas o tecnologías como la Inteligencia Artificial, con el objetivo de que todos los datos se encuentren sincronizados entre el modelo virtual y real.

Un uso potencial de los gemelos digitales es como herramienta de predicción de estado de los activos, para garantizar un mantenimiento predictivo correcto que eviten fallos e interrupciones del suministro energético y, por tanto, la necesidad de asumir costes más altos en labores de mantenimiento correctivo.

Medidas positivas de interés identificadas en otras regiones

El aumento de la capacidad renovable instalada, como parte de los esfuerzos por descarbonizar el sector energético, **ha planteado desafíos que requieren soluciones digitales en los países analizados. Se enfatiza la necesidad de invertir en la modernización y adaptación de las redes energéticas para acomodar la evolución continua de la operación del sistema, junto con la promoción de pruebas piloto para soluciones innovadoras destinadas a gestionar eficazmente la energía renovable descentralizada, lo que contribuiría a optimizar su integración en el sistema energético.**



Resiliencia de los sistemas energéticos ▶

Los sistemas energéticos se enfrentan diariamente en su operación a dos desafíos clave: (i) la **integridad física de sus activos** y (ii) la **integridad de sus sistemas de conectividad y comunicaciones**.

El primero de los desafíos, está ligado principalmente a los retos que supone el **incremento de las catástrofes naturales o eventos atmosféricos adversos derivados del cambio climático**. Cada vez es más común la existencia de olas de calor que tienden incrementar la probabilidad de ocurrencia de grandes incendios forestales, o los episodios agudos de sequías combinados con lluvias torrenciales, consecuencia de las variaciones en los patrones de precipitación y los cambios en las temperaturas.

Todos estos cambios no solo generan riesgos a nivel general en la sociedad, sino que también **pueden afectar a los sistemas energéticos comprometiendo el suministro de calidad**. Así pues, a modo ejemplo, los incendios forestales pueden provocar daños irreversibles en las redes energéticas; huracanes o vientos de grandes velocidades pueden poner en riesgo la integridad de instalaciones de generación renovable, como plantas fotovoltaicas o parques eólicos; las inundaciones pueden dificultar el desarrollo de recursos de biomasa; y las sequías pueden comprometer o alterar la producción hidroeléctrica, afectando especialmente a aquellos países en los que ésta es la fuente de generación mayoritaria.

En este sentido, es necesario el **establecimiento de planes de mejora de la resiliencia** por amenazas naturales, escalando con ayuda tecnológica, como con el uso de gemelos digitales, en qué grado de amenaza se encuentra los activos físicos del sistema energético. Es por ello por lo que la digitalización es necesaria para mejorar factores como la medición de la hidrología y así fortalecer la resiliencia del suministro energético.

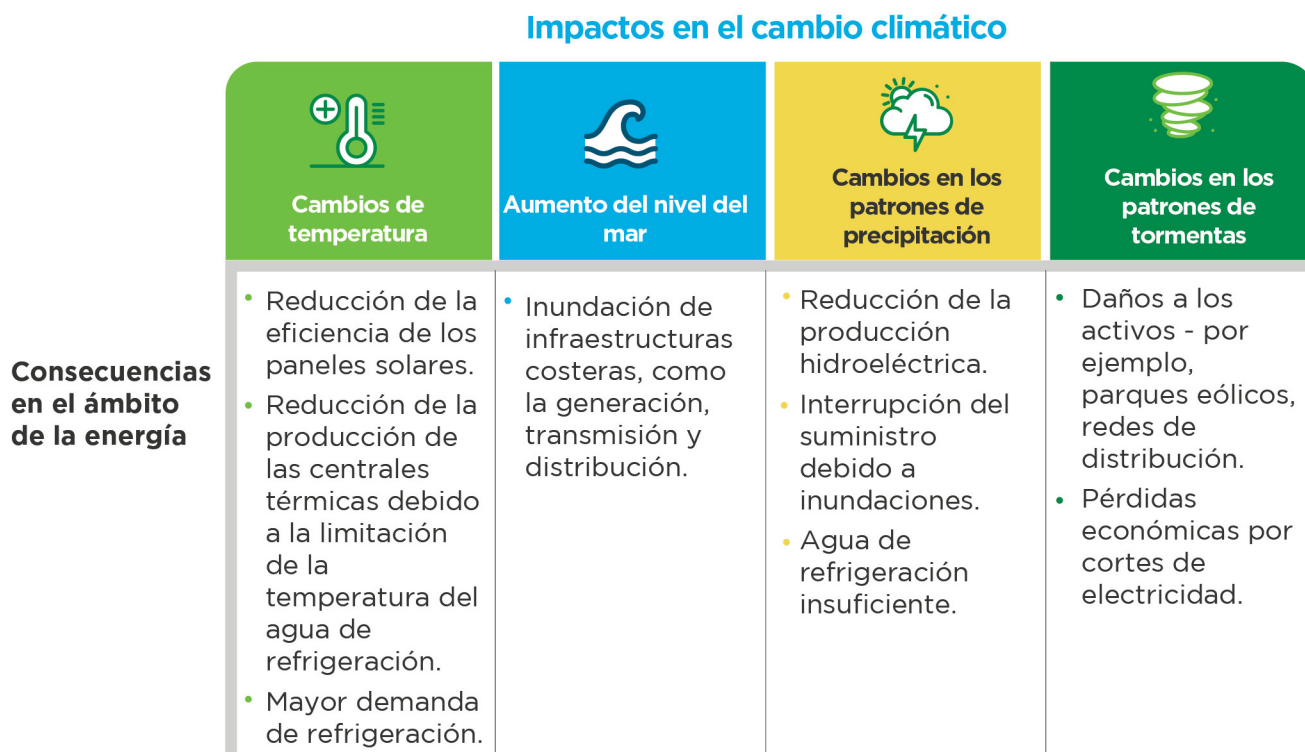


Figura 8. Desafíos del cambio climático en el ámbito del sector energético. Fuente: Elaboración propia, adaptación a partir de gráfico de OECD – Informe “Climate-resilient infrastructure” (Organisation for Economic Cooperation and Development, 2018).

Políticas y planes para la mejora de la resiliencia ante catástrofes climáticas

Por otro lado, los Gobiernos y Reguladores, con sus políticas públicas, también pueden incentivar el desarrollo de tecnologías en el sector. Un buen ejemplo es el Programa Nacional de Gemelos Digitales (NDTP) de **Reino Unido**, que ha entrado en una nueva fase en 2023, trabajando en estrecha colaboración con la industria y el ámbito académico, tiene como objetivo centralizar la capacidad nacional en gemelos digitales, ofrecer un marco de gestión de la información, para garantizar un intercambio de datos seguro y resiliente y una gestión eficaz de la información, y coordinar un grupo de trabajo del desarrollo digital con los agentes clave (Cambridge University, 2018).

Como parte de la implementación del programa, en 2021 se creó el Climate Resilience Demonstrator (CReDo), un proyecto pionero de gemelos digitales enfocado a las infraestructuras de energía, agua, y telecomunicaciones (Digital Twin Hub, 2023).

Además, en **Reino Unido** se publican de forma regular reportes para la adaptación al cambio climático, que detallan medidas para mitigar los potenciales riesgos derivados del cambio climático para los generadores de energía.

En lo que respecta a **Estados Unidos**, se ha establecido, a través del Laboratorio Nacional de Energía Renovables, una Hoja de Ruta de Resiliencia en el Sector Energético o guías para evaluar la potencial afectación del cambio climático al sector eléctrico.

Otros países, como **España, Portugal o Italia**, no disponen aún de ninguna guía específica generada por entes públicos en relación con la afectación concreta de los fenómenos naturales a la infraestructura energética, más allá de su inclusión dentro del análisis realizado durante la elaboración de los Planes de Recuperación y Resiliencia en el marco de los fondos Next Generation EU.

Asimismo, con la progresiva integración de tecnologías digitales, como Internet de las Cosas, una creciente conectividad de dispositivos, y el despliegue de tecnologías como el Big data, el Cloud computing o el Edge Computing, que basan su funcionamiento en la adquisición y análisis de un gran volumen de datos, se multiplican las amenazas contra las redes energéticas llegando a comprometer la información confidencial de clientes y empresas, e incluso el suministro de calidad.

Es por ello, que se deben tomar **acciones de ciberseguridad** en el sector energético que permitan a los agentes privados y públicos detectar cualquier alerta y ciberamenaza. Estas acciones, deben preferiblemente desarrollarse a partir de la colaboración público-privada. Entre los desafíos clave en el ámbito de la seguridad se encuentran:

- **Ciberseguridad para infraestructuras de energía renovable** · Las nuevas formas de energía renovable, por lo general, de carácter más descentralizado, llevan implícitos nuevos desafíos relativos a la ciberseguridad. La protección para estos nuevos perímetros de red es esencial.
- **Seguridad física** · Resulta necesario proteger las infraestructuras críticas ante ciberamenazas que puedan crear problemas de seguridad para los empleados en el sitio e incluso para los residentes cercanos. Además, las interrupciones en los procesos de generación, transmisión y distribución también pueden hacer que la energía no sea segura para los consumidores.
- **Productividad y tiempo de actividad** · Los ciberataques a las empresas del sector tienen el objetivo de causar demoras e interrupciones en las operaciones, que supongan a las organizaciones daños financieros significativos.
- **Eficiencia operativa** · La falta de integración entre los diferentes elementos acoplados de seguridad junto con la fragmentación arquitectónica aumenta las ineficiencias operativas que pueden retrasar la detección, la prevención y las respuestas de amenazas, e incluso crear redundancias en la administración de aplicaciones o en las licencias de software y hardware, que aumentan los gastos operativos.
- **Experiencia del cliente** · Las compañías de energía ahora interactúan con su base de clientes a través de una diversidad de medios electrónicos. La seguridad para las comunicaciones electrónicas es crítica, ya que una violación de la seguridad podría exponer datos personales y confidenciales de los clientes.
- **Integridad del producto** · Las empresas de energía se dedican a proporcionar un servicio constante e ininterrumpido en geografías particulares. Se deben evitar las brechas o los ciberataques que provoquen cortes de energía o tiempo de inactividad para brindar un servicio ininterrumpido a los usuarios que confían en estas infraestructuras crítica.

- Cumplimiento de normativa y estándares técnicos** · El sector de la energía está sujeto a una amplia variedad de regulaciones y normas y, por lo general, están sujetos a la supervisión directa del gobierno. Si bien las sanciones financieras por incumplimiento pueden ser altas, un costo aún mayor a menudo proviene del menoscabo de la reputación de la marca, en caso de incumplimiento o interrupción del servicio. Las organizaciones deben poder demostrar el cumplimiento de múltiples regulaciones y normas sin volver a cambiar al personal de las iniciativas estratégicas para preparar informes de auditoría.

Estrategias y medidas para prevenir y detectar ciberamenazas

Las estrategias y planes de ciberseguridad son vitales para proteger a la industria en el panorama digital actual. En este sentido, los países seleccionados han desarrollado estrategias para hacer frente a los desafíos vinculados a las ciberamenazas a nivel nacional. Sin embargo, el sector energético merece una atención especial debido a su papel fundamental en la sociedad y su exposición a riesgos cibernéticos cada vez mayores. De los países analizados, solo EE. UU. dota de un plan específico para proteger al sector energético.

Estrategia de ciberseguridad	
 	<p>La Agencia de Ciberseguridad Nacional Italiana implementó el Piano di implementazione della Strategia di Cybersicurezza Nazionale 2022-2026 de carácter transversal en el que se presenta la estrategia italiana de ciberseguridad con el objetivo de planificar, coordinar e implementar medidas que hagan que el país sea seguro y resiliente en el dominio digital.</p>
 	<p>El Plan Nacional de Ciberseguridad, aprobado en marzo de 2022, es una iniciativa del Gobierno de España para proteger el ciberespacio como un ámbito vital para salvaguardar los derechos y libertades de los ciudadanos. Dota de numerosas acciones y una inversión superior a 1000 millones de euros, teniendo como objetivo implementar medidas de ciberseguridad específicas en los próximos tres años.</p>
 	<p>El Consejo de ministros portugués aprobó la Estrategia Nacional de Seguridad del Ciberespacio en 2019. El objetivo de esta estrategia es fortalecer la capacidad nacional en materia de ciberseguridad y establece seis ejes de intervención, que incluyen la estructura de seguridad del ciberespacio, prevención, educación, protección de infraestructuras, respuesta a amenazas y cooperación nacional e internacional.</p>
 	<p>El Reino Unido cuenta con una estrategia de ciberseguridad por parte del gobierno: Government Cyber Security Strategy 2022-2030. El objetivo que contempla el gobierno se centra en el manejo de vulnerabilidades y métodos de ataque conocidos. En él, se propone la adopción de buenas prácticas de ciberseguridad, asegurando que la organización pública esté preparada para la gestión de las amenazas cibernéticas mejorando la resiliencia de las organizaciones del país.</p>
 	<p>El Departamento de energía de Estados Unidos ha puesto en marcha el plan Clean Energy Cybersecurity Accelerator™ (CECA), el cual impulsa la innovación cibernética para defender las tecnologías modernas de energías renovables contra los riesgos de ciberseguridad de alta prioridad para el sector energético.</p>
 	<p>La Oficina Nacional de Seguridad de la República de Corea recoge en su National Cybersecurity Strategy que tiene como objetivo fortalecer la seguridad y resiliencia de la infraestructura del Estado frente a las amenazas cibernéticas y responder de manera efectiva a los ciberataques, promoviendo a su vez un ecosistema competitivo en ciberseguridad, equilibrando la protección del ciberespacio con los derechos individuales bajo el marco del Estado de Derecho y la cooperación internacional.</p>
	<p>Planes/Estrategias de Ciberseguridad específicos para el sector energético.</p>
	<p>Planes/Estrategias de Ciberseguridad de carácter general.</p>

Cuadro 3. Estrategias de ciberseguridad en los países analizados. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos obtenidos de Agencia per la Cybersicurezza Nazionale, Departamento Nacional de Seguridad, la Presidência do Conselho de Ministros, Cabinet Office UK Government, U.S. Department of Energy y South Korean Ministry of Science and ICT.

Por lo tanto, la ciberseguridad aplicada al sector energético es un campo con un gran potencial de desarrollo en los países identificados, y sin duda, necesita ser fortalecido para abordar los desafíos que surgen a raíz del avance tecnológico en la red.

MEDIDAS POSITIVAS DE INTERÉS IDENTIFICADAS EN OTRAS REGIONES

Para abordar la seguridad y resiliencia del sistema energético, se han identificado diversas acciones estratégicas. En primer lugar, **se promueve el desarrollo de guías y recomendaciones que establecen directrices para garantizar la resiliencia e integridad del sistema energético frente a catástrofes naturales.** Además, **se enfatiza la importancia de invertir en la modernización y digitalización de la infraestructura energética, lo que contribuye a mejorar la capacidad de respuesta y adaptación del sector a situaciones críticas.**

Un paso clave hacia la protección del sistema es la **inversión en el desarrollo de sistemas de virtualización**, anticipando escenarios y riesgos mediante tecnologías disruptivas. Esto se complementa con un **enfoque preventivo en la ciberseguridad, que incluye la modernización de la arquitectura de red de las comunicaciones y la promoción de estándares internacionales para garantizar la seguridad de los sistemas.** Finalmente, se destaca la **colaboración público-privada en la creación de guías específicas de ciberseguridad en el entorno del sector energético**, un enfoque que fortalece aún más la seguridad de la infraestructura crítica en este sector.



Impacto en la cadena de valor ▶

La **transformación digital del sector energético**, para hacer frente a los ambiciosos objetivos de descarbonización marcados en el sector, supone un **impacto en su cadena de valor.** Anteriormente, se ha reflejado como cada pilar de la transformación requiere del despliegue de diferentes tecnologías digitales y disruptivas para habilitar nuevas funcionalidades. Éstas, para su adecuado desarrollo e implementación, dependen de la existencia de una cadena de valor sólida de fabricación de bienes de equipo y herramientas digitales.

Asimismo, se prevé que la **digitalización del sector energético movilice un volumen de inversión considerable**, del que los diferentes agentes de la cadena de valor se puedan aprovechar con el fin de atraer la inversión. En este sentido, se considera que la **necesidad de disponer de esas tecnologías disruptivas, unido a la necesidad de fomentar la descarbonización** de los sistemas, supone una **oportunidad para el despliegue de industria en la región.** De igual forma, dada la situación actual de las cadenas de suministro, el desarrollo de industrias de proximidad especializadas en bienes de equipos digitales puede contribuir también a la agilidad en los despliegues tecnológicos y, por tanto, a garantizar una seguridad de suministro mayor.

Despliegue de estrategias de reindustrialización aplicada a la transformación digital del sector energético

En los últimos tiempos, como consecuencia de la pandemia del COVID-19 y la posterior invasión a Ucrania por parte de Rusia, muchos países se han visto afectados por una crisis en las cadenas de suministro. Esta situación ha puesto de manifiesto la necesidad de reforzar la industria local y las cadenas de valor de sectores estratégicos como el energético.

En este contexto, los países analizados han desarrollado estrategias para reindustrializarse y reducir su dependencia externa.

A través de los Proyectos Estratégicos para la Recuperación y la Transformación Económica, **España e Italia** fomentan medidas para el despliegue de una industria local sólida que le permita reducir la dependencia de terceros países.

Por otro lado, la **transformación digital del sector energético puede redundar en la transformación de las propias cadenas de valor**, afectando, de una forma u otra, a todas las fases del proceso de producción. La inclusión de tecnologías digitales en toda la cadena de valor puede generar beneficios relativos, entre otros, a la gestión del aprovisionamiento de las materias primas necesarias para la producción de bienes de equipo, al incremento de la calidad y a la reducción de tiempos en el propio proceso de producción y a la implementación de canales para la colaboración efectiva entre agentes relevantes de la cadena de valor.

Por tanto, el desarrollo de industrias locales especializadas en bienes de equipos digitales puede contribuir a la agilidad en los despliegues tecnológicos y, por tanto, a garantizar una seguridad de suministro mayor. A su vez, el despliegue local de cadenas de valor para la fabricación de bienes de equipo y otras tecnologías estratégicas dentro del sector energético requerirá del desarrollo de **capacidades digitales aplicadas a la producción** y derivará en la **creación de empleo cualificado y de calidad** en la región.

Medidas positivas de interés identificadas en otras regiones

Para fortalecer la participación de actores locales y regionales en la cadena de valor, se han identificado diversas estrategias clave. En primer lugar, **se promueve la creación y el fomento de hubs o clústers industriales** de proximidad al eslabón industrial de la cadena de valor y la demanda, lo que facilita la colaboración y sinergias entre las empresas locales. Además, se aboga por el **desarrollo de políticas industriales que incentiven la promoción y dinamización industrial**.

Para garantizar la participación de entidades regionales y locales, **se busca establecer alianzas estratégicas con empresas especializadas extranjeras, que contribuyan al desarrollo de una cadena de valor más integrada. La investigación y la formación juegan un papel crucial en este proceso**, con avances en estas áreas vinculadas al desarrollo de la digitalización en el sector solar. Finalmente, se impulsa la cadena de valor local para estimular la creación de empleo en áreas locales y regionales, especialmente en zonas con desafíos demográficos, fomentando así la inversión y el crecimiento económico en esas áreas.



04

Estado actual de la transformación digital en la región



En el contexto de la **transformación digital del sector energético**, la **región de ALC presenta un grado de avance heterogéneo**, motivado, entre otros factores, por las **diferencias** existentes entre países, en lo que respecta a su **desarrollo económico**. En líneas generales, que un país cuente con un mayor nivel económico podría traducirse en un cambio de las prioridades a nivel sectorial que afectan a la capacidad de inversión en innovación. Sin embargo, las prioridades y preocupaciones comunes identificadas por los principales agentes del sector energético son:



América Latina y Caribe

Prioridades

- Energías renovables
- Eficiencia energética
- Tracción de la demanda
- Diseño urbanístico
- Acceso a energía de calidad

Preocupaciones

- Crecimiento económico
- Precios de los productos
- Gestión del cambio climático
- Fomento de la inversión
- Diseño del mercado

Figura 9. Prioridades y preocupaciones de América Latina y Caribe de los líderes del sector energético en la región. Fuente: Elaboración propia, adaptado a partir del informe “World Energy Issues Monitor 2022” (*World Energy Council, 2022*)



Estas prioridades del sector energético en la región están muy vinculadas a los objetivos de desarrollo de las **energías renovables** y de **acceso a una energía de calidad**, pero también a otros como el incremento de la **eficiencia energética** o la **tracción de la demanda energética**, que será previsiblemente mayor a medida que se vayan desarrollando nuevos modelos de negocio dentro del sector.

En este contexto, y tal y como se ha desarrollado anteriormente, el **despliegue de tecnologías disruptivas y emergentes** permite hacer frente a estas prioridades, garantizando la disponibilidad de energía para satisfacer la demanda de todos los consumidores, asegurando el acceso y suministro energético básico, de calidad y continuo a toda la población considerando, en la misma dimensión, los retos medioambientales como uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los países de Latinoamérica y Caribe. Sin embargo, su implementación efectiva en los sistemas energéticos se ve condicionado por una serie de factores como: el **gasto en I+D**, que favorezca la innovación en el sector y la transformación digital del mismo; disponer de **capital humano con habilidades digitales** para lograr una integración efectiva de estas tecnologías y el aprovechamiento de todo su potencial; asegurar la existencia de un **marco regulatorio incentivador** a la inversión y el desarrollo de las soluciones digitales y, por último, disponer de suficientes incentivos que **fomenten la inversión privada**.

Por ello, y con el fin de evaluar el estado actual de la región, en cuanto a su grado de avance en el proceso de transformación digital, se ha realizado una selección de países de especial interés en los cuatro pilares básicos: (i) la digitalización centrada en el usuario, (ii) la flexibilidad del sistema para integrar renovables, (iii) la resiliencia de los sistemas energéticos y (iv) el impacto en la cadena de valor. En concreto, los países seleccionados son los siguientes:



Figura 10. Países seleccionados para evaluar el estado actual de la transformación digital en la región ALC. Fuente: Elaboración propia.

Digitalización centrada en el usuario

La transformación digital incluye el desarrollo de nuevos modelos de negocio y de herramientas digitales de gestión de datos de consumo, que sitúan al usuario en el centro, de tal forma que éste pasa de ser un mero consumidor, a convertirse, potencialmente, en un participante activo en los mercados energéticos.

Un primer paso para analizar el despliegue de las tecnologías digitales en las redes energéticas consiste en identificar el **grado de electrificación del sector energético**. Esto se debe principalmente a tres motivos: en primer lugar, se deduce que en un país con un grado bajo de acceso físico a la energía eléctrica no se considera prioritario invertir en digitalización; en segundo lugar, la electrificación de los usos energéticos se considera un vector para la descarbonización de los sistemas energéticos; por último, las tecnologías digitales desplegadas buscan tener un impacto positivo en los consumidores, que únicamente se puede garantizar al tener un suministro energético resiliente, continuo y estable.

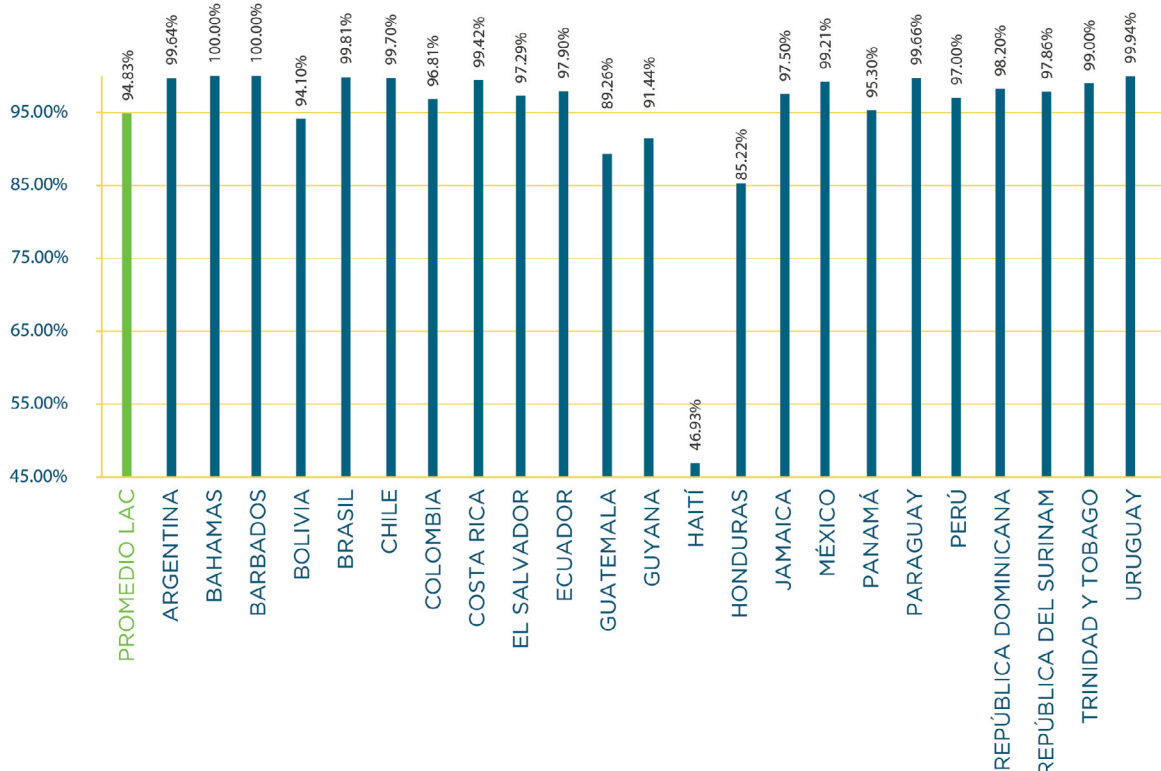


Figura 11. Tasa de electrificación por país. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del Informe “Panorama energético de América Latina y el Caribe 2022” (OLADE, *sieLAC*, 2022).

Sin embargo, el pilar básico para el inicio del despliegue digital en el sector energético en la región es la **incorporación de medidores inteligentes**, que se posiciona como el punto de arranque de la transformación tecnológica sectorial (ADELAT, 2022). En la actualidad, la región se encuentra en un proceso de integración de medidores inteligentes que es globalmente incipiente, como se refleja en el siguiente gráfico:



Figura 12. Intervalos de penetración de medidores inteligentes en los diferentes países de la región. Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del informe “La medición inteligente en América Latina y el Caribe” (Banco Interamericano de Desarrollo, 2023).

En líneas generales, y de acuerdo con el informe acerca de “La medición inteligente en América Latina y el Caribe”, un mayor porcentaje de despliegue de medidores inteligentes estaría relacionado con la existencia de estrategias nacionales y objetivos específicos. La captación de datos mediante medidores inteligentes favorece también el desarrollo de otros modelos de negocio centrados en el usuario como (i) la **generación distribuida y el autoconsumo**, (ii) la **integración del vehículo eléctrico** o (iii) el **desarrollo de comunidades energéticas** de ámbito local, entre otros.



En lo que respecta a la **generación distribuida** se ha puesto de manifiesto recientemente la necesidad de la región de **diversificar sus fuentes de generación renovable**, tradicional y mayoritariamente vinculada a la disponibilidad de recursos hídricos (en el año 2021 era la fuente energética con mayor capacidad instalada de generación eléctrica en la región – un 41,45% sobre el total – y también la fuente con un mayor porcentaje de generación eléctrica – 42,8% sobre el total-), **apoyándose en los recursos renovables existentes**. Así pues, la generación descentralizada a través del autoconsumo o el impulso a las comunidades energéticas ayudará a la región a cumplir sus objetivos climáticos, y a disminuir la pobreza energética a lo largo de su territorio.

En esta línea, y con el fin de alcanzar un mayor despliegue de generación renovable en los próximos años, la **Estrategia para una América Latina y el Caribe más renovable** pone en el centro la prioridad de introducir otras fuentes de energía renovable - en especial la eólica, la solar fotovoltaica, la biomasa y la geotérmica - aprovechando los recursos naturales existentes y diversificando el origen renovable de la energía. Asimismo, apuesta por la generación distribuida como vector para acelerar la transición energética y, a su vez, habilitar el acceso a la red eléctrica a todos los usuarios que, hasta el momento, no lo tenían (Organización Latinoamericana de la Energía, 2023).

Otro de los usos eléctricos que sitúa al usuario en el centro es el **despliegue del vehículo eléctrico** y toda la infraestructura eléctrica que lo rodea. Los países de la región en los que más vehículos eléctricos e híbridos enchufables se comercializaron en los últimos años son México, Colombia o Brasil. Sin embargo, la cifra total en la región es claramente inferior respecto a otras regiones como Europa, China o Estados Unidos.



A pesar de ello, la región tiene la oportunidad de desarrollar cadenas de valor del vehículo eléctrico gracias a la disponibilidad de recurso de Litio para las baterías, en países como Argentina, Bolivia y Chile, y a la industria automotriz presente en México y en Brasil, entre otros. Esto supondría oportunidades de generación de valor adicional en el sector de la fabricación, por ejemplo, de baterías (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

Otros países como Jamaica o Bahamas que se encuentran desarrollando también estrategias de movilidad, verán impulsados sus despliegues si logran vincularlos a otros desarrollos tecnológicos digitales.

iii. Por último, una solución que podría combinar el autoconsumo y la infraestructura de recarga de vehículo eléctrico, entre otros modelos de negocio, es el **despliegue de comunidades energéticas o cooperativas de energía**, que cada vez toman más peso en los países de la región, ya que, mediante apoyo público y acceso a financiación, se considera una alternativa para el acceso a la energía a hogares con rentas bajas. Asimismo, el concepto de Comunidad energética implica la coexistencia de nuevos servicios energéticos integrados mediante tecnologías digitales que permiten la gestión de los flujos energéticos. Los países de la región que cuentan con iniciativas de comunidades energéticas implantadas son: Argentina, Brasil, Chile, Colombia y Uruguay.




País	Primeras iniciativas	Programas y proyectos de implantación de comunidades energéticas
 ARGENTINA	2016	Proyecto de Energías Renovables (PRIER) Potencialidad para la implementación de comunidades energéticas sustentables en la provincia de Córdoba, Argentina
 BRASIL	2015	Proyecto RevuSolar
 CHILE	2015	Programa Comuna Energética
 COLOMBIA	2019	Iniciativa de Energía Transactiva en Colombia
 URUGUAY	2017	Programa Comunas Energéticas

Figura 13. Países pioneros en el desarrollo de iniciativas para el despliegue de comunidades energéticas. Fuente: Elaboración propia en base a información de carácter nacional y sectorial.

Estos países son pioneros en el desarrollo de iniciativas para el despliegue de comunidades energéticas en la región. Sin embargo, cabe destacar el caso de Colombia, a través de modelos como la venta de energía Peer-to-peer.

Todo este proceso de **introducción de nuevas formas de generación y nuevos modelos de negocio** en el sector energético, como los ejemplificados en el capítulo, requiere del **despliegue de tecnologías habilitadoras para la digitalización, que favorezcan su integración eficiente**. Los países de la región que se consideran más actualizados en lo que respecta al despliegue de tecnologías como el Internet de las Cosas, el Cloud computing, el 5G o la fibra óptica, son, entre otros: Brasil, Chile y Uruguay.

- El hito más destacado en el panorama tecnológico uruguayo es el lanzamiento de la primera red 5G en Latinoamérica. Además, se trata del mayor exportador de software per cápita de América Latina dado su temprano desarrollo en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) (Uruguay Presidencia, 2019).
- En el caso de Brasil cabe señalar que, en 2020, el mercado de las TIC creció un 12.2% – diferente al promedio mundial, que se redujo 0.3%– y en 2021, el crecimiento fue de un 7 % –en el mundo el crecimiento fue de 5.4%–, considerando los mercados de software, servicios TI, telecomunicaciones y hardware (Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Softex, 2022).
- Por último, Chile tiene una visión a futuro que incluye la mejora en la infraestructura de datos, mediante la implementación de la tecnología 5G, que sea compatible con un previsible aumento de la capacidad de almacenamiento y de la capacidad de procesamiento de datos contratada. Para ello, también se contempla el uso del Cloud computing con el fin de que se integren, para su posterior análisis, los datos de todos los edificios que formen parte de un mismo distrito (Comisión de Transportes y Telecomunicaciones del Senado de Chile, 2023).

Oportunidades para la región en materia de digitalización centrada en el usuario

La región presenta grandes oportunidades para el desarrollo de la digitalización centrada en el usuario basadas en un despliegue amplio de tecnologías digitales disruptivas y emergentes en el sector energético.



Habilitar un acceso energético a la población de LAC a través de la electrificación y el desarrollo de las redes eléctricas en territorios que, actualmente, no cuentan con acceso a los servicios energéticos.



Empoderar al consumidor permitiéndole una participación más activa en la gestión de sus consumos energéticos y, a su vez, habilitando la posibilidad del despliegue de autoconsumos descentralizados.



Impulsar nuevos servicios demandados por los usuarios, como el vehículo eléctrico o las comunidades energéticas, y facilitar el acceso a información sobre su consumo a través de los dispositivos tecnológicos.



Reducir la pobreza energética, no solo asegurando el acceso físico a la electricidad, sino también su asequibilidad en costes y la calidad del suministro.



Flexibilidad del sistema para incorporar renovables ▶

La transición energética está cada vez más presente en Latinoamérica y el Caribe, ya que un gran número de países en la región están incorporando estas prioridades en su política energética, con el fin de alcanzar sistemas energéticos resilientes y sostenibles. En este sentido, es de vital importancia **una apuesta por la generación renovable, diversificada en cuanto a tecnologías y que se encuentre descentralizada a lo largo del territorio.**

Aunque, actualmente, se trata de una de las regiones del mundo con una mayor capacidad y producción de energía renovable, ésta está fundamentalmente ligada a la presencia de tecnologías de generación hidroeléctrica. Sin embargo, **los países de América Latina y el Caribe presentan diferencias muy significativas en lo que respecta a la incorporación de nueva capacidad de generación renovable.** Esto se debe principalmente a diferencias históricas, tanto en los ámbitos energéticos como, en muchos casos, en los económicos, políticos e incluso institucionales; pero el principal motivo es si el país es o ha sido importador o productor de hidrocarburos (OLADE, 2023).

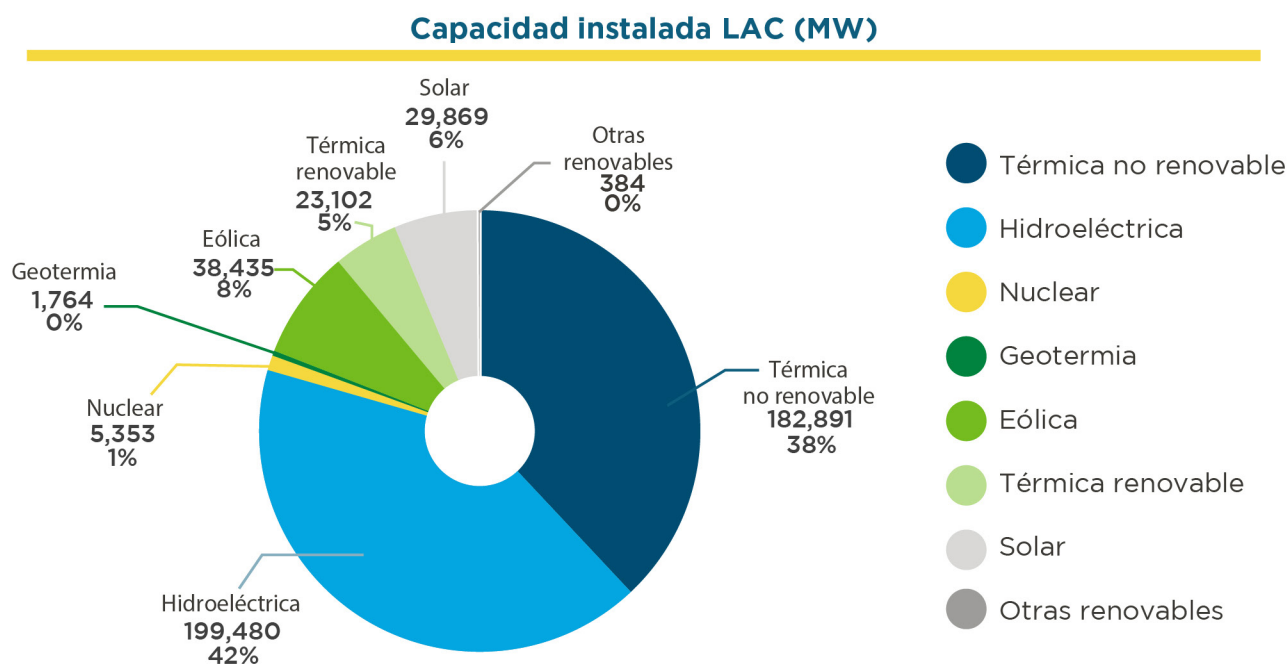


Figura 14. Capacidad Instalada en la región (2021). Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2022 (OLADE, sieLAC, 2022).

Latina y el Caribe 2022 (OLADE, sieLAC, 2022). Todo ello está unido a la disponibilidad en la región de uno de los mayores recursos eólicos y solares a nivel mundial, que, aunque en la actualidad se encuentran aún poco explotadas, podrían favorecer la consecución de una matriz de generación cada vez más renovable. A modo de ejemplo, zonas como la región chilena del Atacama presentan los niveles más intensos de luz solar del planeta (American Meteorological Society, 2023), suponiendo, por tanto, áreas de interés para el desarrollo de proyectos renovables. Igualmente, otros países como Guyana, tradicionalmente vinculados a la producción de oil&gas han fijado ambiciosos objetivos de generar el 100% de su electricidad a partir de fuentes renovables para el año 2025, gracias a que cuentan con abundantes recursos solar, eólico e hidroeléctrico (CARILEC, 2023)

Así pues, la región está en la búsqueda de la diversificación progresiva de sus fuentes de generación, de la atracción de nuevas inversiones en este ámbito, y de la consecuente reducción de los costes. Si bien esta diversificación tendrá diferentes velocidades, en base al nivel de partida actual de la capacidad renovable con la que cuenta cada país en la región (ver siguientes figuras, información relativa al año 2021).

► **Capacidad instalada en la región - Países con mayor despliegue renovable (GW)**

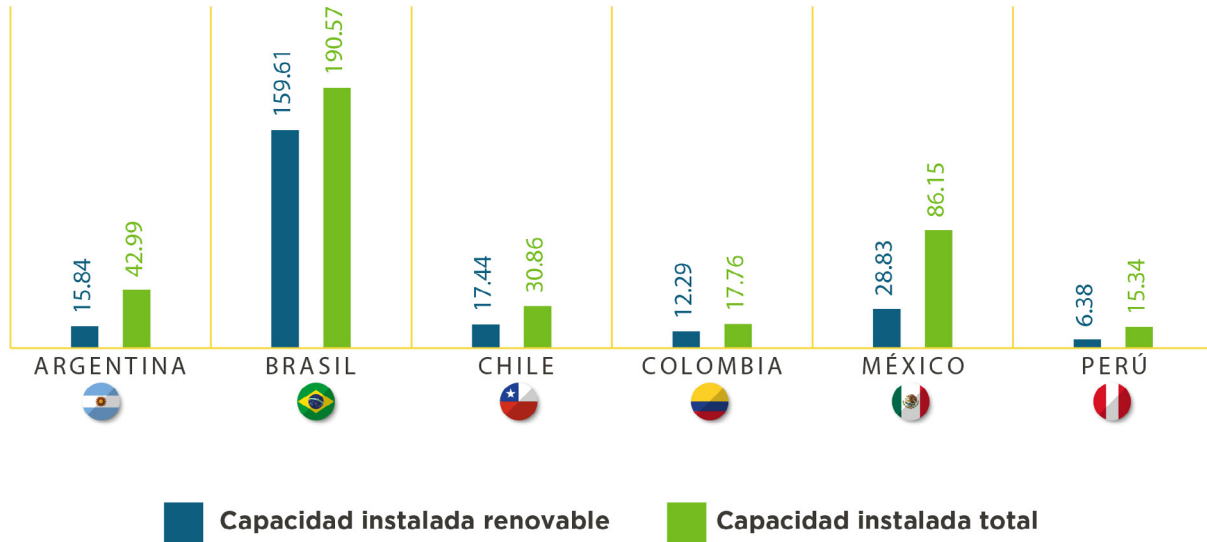


Figura 15. Capacidad instalada de generación de electricidad en la región - Países con mayor despliegue renovable (GW) (Hub de energía, 2021)

► **Capacidad instalada en la región - Países con un despliegue renovable moderado (GW)**

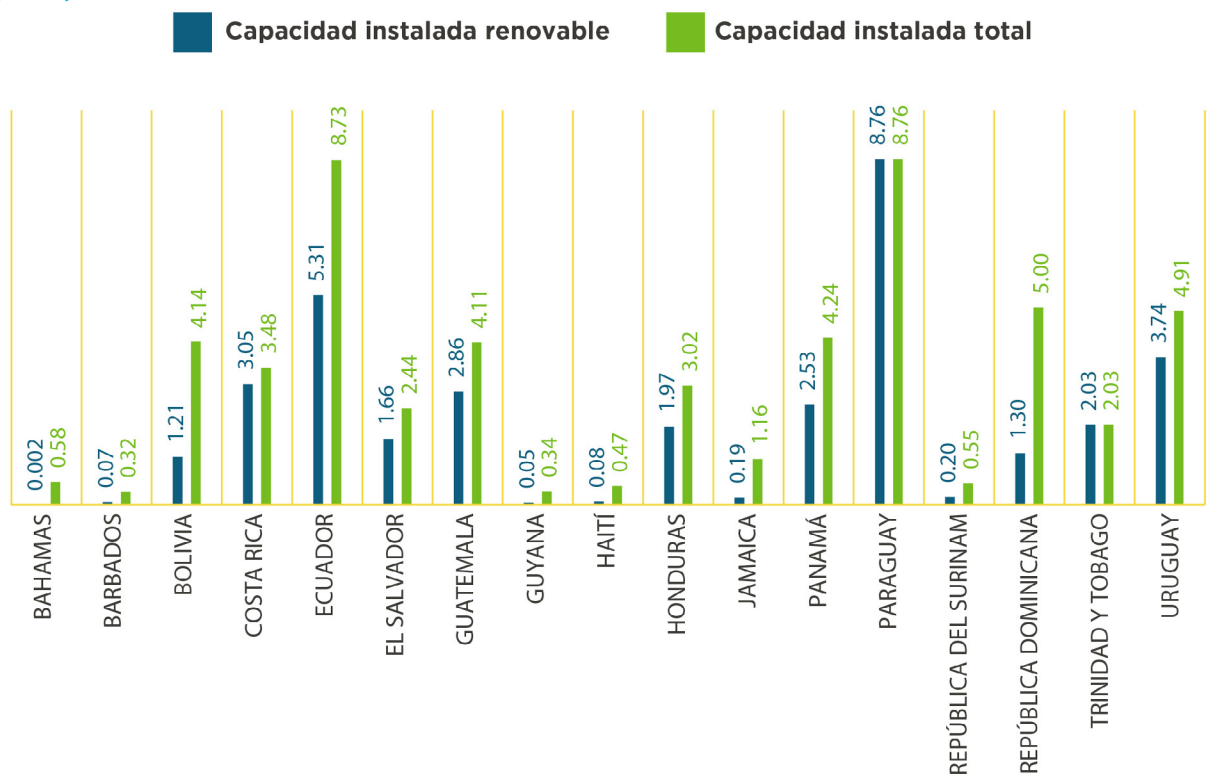


Figura 16. Capacidad instalada de generación de electricidad en la región - Países con despliegue renovable más moderado (GW) (Hub de energía, 2021) (Datos Macro, 2021)

El desarrollo de tecnologías de generación descentralizada podría suponer importantes avances al dar acceso energético a núcleos de población que aún no dispongan de él. Acorde a una publicación del BID, a pesar de los grandes avances que ha tenido la región, 18,5 millones de personas no cuentan con acceso a electricidad - 4,5 millones de viviendas sin suministro eléctrico (Hub de Energía, 2022), especialmente en zonas rurales. Y, por tanto, se requerirían aproximadamente 25 mil millones de dólares para lograr acceso universal en 2030 en la región (Banco Interamericano de Desarrollo, 2022).

Se considera entonces que la transformación digital podría suponer oportunidades para avanzar en la integración de renovables en el sistema energético de ALC y reducir esta cuota de población sin suministro eléctrico y que, asimismo, puede servir para modernizar la generación hidroeléctrica, que tiene una alta presencia en la región, con el fin de dar un mayor margen a la integración de otras fuentes renovables.

Recomendaciones para flexibilizar el sistema energético en la región



Inversión en tecnologías de generación intrínsecamente flexibles y descentralizadas.



Modernización de las redes energéticas, mediante la incorporación de tecnologías de automatización y sensorización, que limiten las congestiones e interrupciones.



Inversión en centros de control que incorporen tecnologías disruptivas, y que garanticen la continuidad del suministro energético.



Incorporación de sistemas de almacenamiento energético mediante baterías, aprovechando los recursos minerales endógenos de la región, y el aprovechamiento de la capacidad hidroeléctrica de la región para almacenamiento a gran escala.



Políticas energéticas públicas que alineen los objetivos de la transición ecológica (incorporación de renovables), con la transformación digital.



Modernización de las normas de los mercados energéticos, así como creación de mercados energéticos interiores en la región.



Habilitación de la transformación digital mediante la incorporación progresiva de tecnologías emergentes de comunicación (fibra óptica, 5G, etc.).



Fomento de la integración regional a través del desarrollo de soluciones comunes que permitan un mayor grado de conectividad y de flexibilización del sistema.



Resiliencia de los sistemas energéticos ▶

Tal y como se citaba en capítulos anteriores, la **resiliencia energética** tiene el objetivo de desarrollar sistemas energéticos robustos mediante la **preservación de la integridad física de los activos frente a desastres naturales**, frecuentes en algunas zonas de la región, y la salvaguardia de los sistemas de conectividad y comunicación **frente a potenciales ataques cibernéticos**, cada vez más frecuentes en un contexto de digitalización de los sistemas económicos globales.

A nivel global, los desastres naturales extremos (terremotos, huracanes, tsunamis, erupciones volcánicas, tornados e inundaciones) desplazan a millones de personas, empujan a muchas de ellas a la pobreza y se cobran la vida de miles. Asimismo, suelen desencadenar una cadena de consecuencias adversas que comprometen la integridad y la funcionalidad de las instalaciones energéticas, comprometiendo el acceso a servicios básicos como la electricidad o la comunicación. Todo ello tiene un impacto para la economía de aproximadamente 520 billones de dólares anuales. (TelefónicaTech, 2019).

Por otro lado, en 2021, los costes por ciberataques ya suponían 6.000 billones de dólares a las organizaciones en el mundo (IEBS Business School, 2021), lo que supone un volumen económico muy relevante. Gran parte de los ciberataques van dirigidos a sectores críticos, como la banca o el sector energético.

A continuación, se ilustra con ejemplos cómo el despliegue de las tecnologías de digitalización en el sector energético ha facilitado la prevención de ataques cibernéticos o la minimización de los daños ocurridos tras un desastre natural, entre otros.

Estado del arte de la región de ALC en el ámbito de la resiliencia

Los países de la región, por su ubicación geográfica, son especialmente vulnerables ante determinados fenómenos climáticos, especialmente, los situados en la región del Caribe. Esto representa una seria amenaza para los activos físicos que forman parte integral del sistema energético.

Además, como se puede observar en el Informe del Estado del Clima en América Latina y el Caribe 2022 se pone de manifiesto el aumento de la exposición a desastres naturales derivadas del aumento del nivel del mar, las sequías o los incendios forestales, entre otros (Organización Meteorológica Mundial, 2023). En concreto, especifica como causas del aumento de esta exposición:

- **El aumento del nivel del mar** a un ritmo mayor en el Atlántico Sur y el Atlántico Norte subtropical, en comparación con la media mundial, poniendo en peligro las zonas costeras continentales y varios países de la región.
- **Las tormentas tropicales**, que han causado daños importantes, provocando grandes pérdidas económicas y los deslizamientos de tierra causados por lluvias extremas, provocando cientos de víctimas mortales en la región.
- **Las temperaturas extremadamente altas y las condiciones de sequía**, juntos con la baja humedad del aire, han dado lugar a temporadas de incendios forestales sin precedentes en países de la región.

Con el fin de dar una respuesta ágil a estas catástrofes y minimizar el impacto que éstas pueden tener en la continuidad de suministro energético, es recomendable establecer guías y directrices que garanticen el alineamiento de las actuaciones por parte de todos los agentes involucrados en la cadena de valor, junto con planes de contingencia específicos para la reposición del servicio en infraestructuras críticas.

En este sentido, destacan, entre otros, países Chile, México, Guatemala y Colombia que han desarrollado estrategias y políticas nacionales encaminadas a establecer las citadas directrices, y minimizar riesgos ante desastres naturales.



Chile

Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastre

Esta política, dentro del Plan Estratégico Nacional 2020-2030 del Gobierno de Chile, tiene cinco acciones estratégicas para conseguir reducir el riesgo de desastres:

1. Comprender el riesgo de desastres
2. Fortalecer la gobernanza del riesgo de desastres
3. Planificar e Invertir en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia
4. Proporcionar una respuesta eficiente y eficaz
5. Fomentar una recuperación sostenible

El enfoque que contienen estas acciones resulta beneficioso para la seguridad y resiliencia del país frente a posibles eventos adversos (Ministerio del Interior y Seguridad Pública Gobierno de Chile, 2020).



México

Estrategia de la CFE para la temporada de huracanes

En marzo de 2023, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) del país mexicano, presentó una estrategia que involucra a más de 17 mil trabajadores en su Reunión Nacional de Huracanes.

Para afrontar la temporada de huracanes del año 2023, el enfoque principal es atender emergencias causadas por fenómenos meteorológicos y asegurar la recuperación del suministro eléctrico para sus 47 millones de clientes (Comisión Federal de Electricidad, 2023).



Guatemala

Plan Nacional de Respuesta

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales o Provocados (CONRED) recoge en su plan el objetivo de coordinar acciones entre dependencias gubernamentales, entidades públicas y privadas, y organizaciones en Guatemala para una respuesta eficaz ante desastres naturales, tecnológicos o sanitarios. Busca salvar vidas, proteger bienes y reducir el impacto en la población.

También reduce duplicación de esfuerzos, establece mecanismos de coordinación y estandariza protocolos para una gestión integral de emergencias y desastres, además de fortalecer la gestión de información en todo el país (Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales o Provocados, 2022).



Colombia

Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres

La Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) actualizó en 2022 el plan que tiene como objetivo: (i) mejorar la comprensión del riesgo de desastres en el país, (ii) prevenir la creación de nuevas condiciones de riesgo en el desarrollo territorial, (iii) disminuir las condiciones de riesgo existentes, (iv) asegurar una respuesta eficiente a los desastres, y (v) reforzar la gobernanza, la educación y la comunicación social en la gestión del riesgo, considerando enfoques diferenciales, de género y culturales (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, 2022).

Recomendaciones para alcanzar un sistema energético más resiliente frente a los desastres naturales y los ciberataques en la región



Establecimiento de guías y directrices específicos del sector energético que garanticen el alineamiento de las actuaciones por parte de todos los agentes involucrados en la cadena de valor, junto con planes de contingencia para la reposición del servicio en infraestructuras críticas.



Inversión para la integración de tecnologías de digitalización en los sistemas energéticos, que permitan prevenir, detectar y reducir los impactos, así como facilitar la recuperación tras un desastre climático.



Desarrollo de planes y estrategias de ciberseguridad a nivel sectorial, haciendo referencia a medidas específicas que permitan la capacidad ágil de respuesta frente a ataques cibernéticos, la salvaguarda de la infraestructura crítica, y la gestión y protección de los activos y datos, entre otros.



Impulso de la colaboración público-privada para lograr el despliegue efectivo de soluciones de ciberseguridad, que minimicen los riesgos asociados a la integración de la digitalización en el sector energético.



Impacto en la cadena de valor ▶

La cadena de valor del sector energético engloba desde la obtención de materias primas para la fabricación de componentes eléctricos hasta la generación energética, su distribución, comercialización y los servicios energéticos prestados.

Así pues, la transformación digital puede conducir a la aparición de nuevos modelos de negocio, vinculados por ejemplo a cadenas de producción de desarrollos tecnológicos innovadores, que permitan que la inversión efectuada por otras áreas de la cadena de valor como las empresas energéticas recaiga en fomentar una industria especializada en tecnologías punteras.

En este sentido, la región presenta una serie de retos y oportunidades para impulsar la cadena de valor sectorial. La necesidad de mercados integrados, que unifique las políticas comerciales y fomente los acuerdos de libre comercio, o el impulso a la relocalización de la industria son claves para garantizar un fortalecimiento y mejora de la resiliencia de la cadena de valor.

Oportunidades para la región derivadas de la transformación digital

La región, cuyo tejido productivo y cadena de valor tienen una alta dependencia de mercados exteriores, tiene la oportunidad de trabajar en su integración y adquirir fuerza como región industrializada. Cabe señalar que las principales causas que dieron lugar a la existencia de un tejido productivo y una cadena de valor poco desarrollados, fueron: (i) su gran extensión territorial, (ii) su compleja geografía, (iii) la infraestructura existente de transporte, (iv) la fragmentación institucional de su mercado y, por último, (v) su especialización como región exportadora de materias primas básicas (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2021).

Igualmente, un reto que enfrenta la región es el escaso grado de integración de sus mercados. Estudios

del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) indicaban que, varios años atrás, la región podría haber percibido más de 11.000 millones de dólares cada año, simplemente mediante un aumento de la unificación de acuerdos de libre comercio o trato preferencial entre sus países (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018a). Esto, aunque no solo está ligado al ámbito de la energía, sí que pone de manifiesto la necesidad de integrar los mercados del sector energético en la región con la finalidad de aumentar la eficiencia en costes de los sistemas energéticos de cada país y, asimismo, favorecer a través de la inversión el desarrollo del sector de forma más unificada en todos los países de la región.

Por todo ello, la región de ALC se encuentra en un proceso de adaptación no únicamente de las transformaciones tecnológicas y la digitalización enmarcadas en la modernización del sector energética, sino también en aprovechar, a raíz de ello, las oportunidades para fortalecer la integración industrial, mejorar la productividad y fomentar la colaboración regional en diversos sectores, incluido el energético. A través de políticas industriales (de atracción de conocimiento e inversión), acuerdos y alianzas comerciales y estrategias de integración digital, la región busca superar desafíos históricos y maximizar el potencial de la cadena de valor en una economía globalizada y tecnológicamente avanzada.

Los países ya han puesto en marcha diferentes iniciativas en las que se ponen en práctica soluciones centradas en la integración de la cadena de valor del sector energético. Varios países como Brasil, Ecuador, Honduras, Panamá y Uruguay han combinado políticas de despliegue en ámbitos como las renovables con requisitos de incorporar productos y componentes de fabricación local con el fin de que el impulso a las renovables cree el máximo valor local (International Renewable Energy Agency, 2016).

Adicionalmente, la región cuenta con una ventaja competitiva con respecto a otras regiones del planeta en lo relativo a la disponibilidad de materias primas estratégicas para el desarrollo de tecnologías ligadas a la transición energética, lo que le hace ser una de las regiones con mayores oportunidades en el desarrollo de una cadena de valor regional/local especializada en las etapas primarias de la cadena de valor del sector energético.

A modo de ejemplo, según los datos más recientes, América Latina posee el 60% de todos los recursos de litio identificados en el mundo. Estos se encuentran principalmente en Bolivia, Argentina y Chile, a veces denominados como el “triángulo de litio” (Naciones Unidas, 2022).

En este sentido, **al margen de la necesaria inversión privada en establecer centros de fabricación, se hace indispensable el apoyo a estos desarrollos a partir de políticas públicas.** En esta línea, otros bloques geopolíticos, como la Unión Europea o los Estados Unidos de América, han impulsados planes estratégicos transversales al sector, para fomentar la reindustrialización de sus territorios con el fin de disminuir su dependencia energética del exterior y desarrollar cadenas industriales locales para abastecer una cuota significativa de las necesidades de tecnologías ligadas a la transición energética (en la Unión Europea, a modo de ejemplo, se pretende satisfacer internamente, al menos, el 40% de las necesidades de estas tecnologías). Así pues, incentivos fiscales a la localización de inversión industrial, o la creación de hubs y clústeres industriales que alineen estrategias de desarrollo será vital para garantizar el éxito.

Medidas positivas de interés identificadas en otras regiones



Creación e impulso de hubs/clústers industriales próximos al eslabón industrial de la cadena de valor y a la demanda.



Desarrollo de políticas industriales que incentiven la participación de entidades locales (similar a los requisitos NextGeneration EU en Europa).



Desarrollo de alianzas con empresas especializadas extranjeras que garanticen la participación de entidades regionales y locales en el desarrollo de proyectos de energías renovables que incorporen tecnologías emergentes y disruptivas en digitalización.



Impulso a la cadena de valor integrada mediante alianzas estratégicas entre fabricantes de soluciones de digitalización y empresas energéticas.



Avances en investigación y formación vinculadas al desarrollo de la digitalización en cuanto a la operación y mantenimiento de las infraestructuras energéticas.



Impulso a sectores afines al energético, como la minería, logística, fabricación de componentes eléctricos, etc., favoreciendo la creación de empleo cualificado local y la inversión regional.

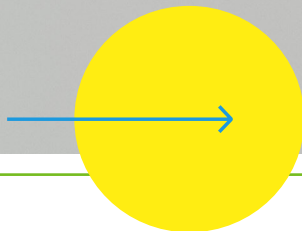


05

La visión de los agentes de la región sobre el proceso de transformación digital



El objetivo de este capítulo es presentar la visión sobre la transformación digital en el ámbito de la energía, por parte de los agentes públicos y privados que desempeñan su actividad dentro de la cadena de valor del sector energético en la región. Para ello, se ha realizado un análisis basado en los resultados de una encuesta (véase Anexo C para más información) realizada a representantes públicos (agentes e instituciones) y privados de la región. Las citadas encuestas, se han llevado a cabo entre los meses de julio y agosto de 2023, principalmente.

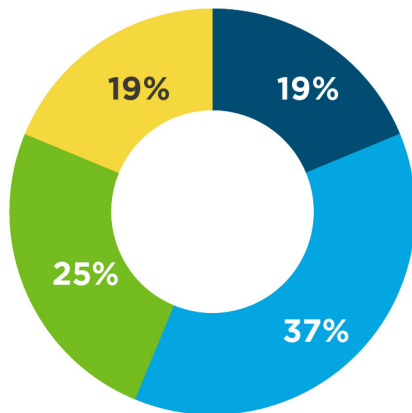


5.1. Grado de avance de la transformación digital en la región según los agentes

Como se ha citado en capítulos anteriores, el grado de avance en la región es ciertamente heterogéneo, en función del país. Aspectos como la regulación, la inversión sectorial, o la capacidad de desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas, entre otros factores, han condicionado el grado de madurez tecnológico de cada nación.

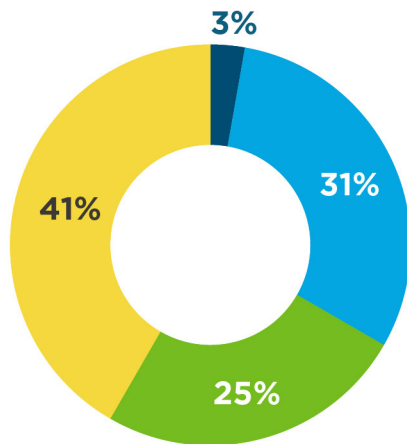
En este sentido, el grado de avance general de la región, en cuestión de transformación digital del sector, con carácter general, es aún limitado. Del total de las respuestas recibidas, únicamente el 8% de los agentes consideran que sus organizaciones cuentan con un grado de avance alto de transformación digital. A su vez, aproximadamente el 40% de los agentes consultados consideran que se encuentran en procesos preliminares de concienciación de la importancia de la transformación digital del sector, y, por tanto, aún no han tomado ninguna acción de inicio del proceso o se encuentran en una etapa preliminar.

► Estado actual de la transformación digital en las entidades consultadas



Sector Privado

- Cuenta con una adopción avanzada
- Estamos en proceso de implantación con un plan establecido
- Ya se han desarrollado los primeros proyectos piloto
- Se está tomando consciencia



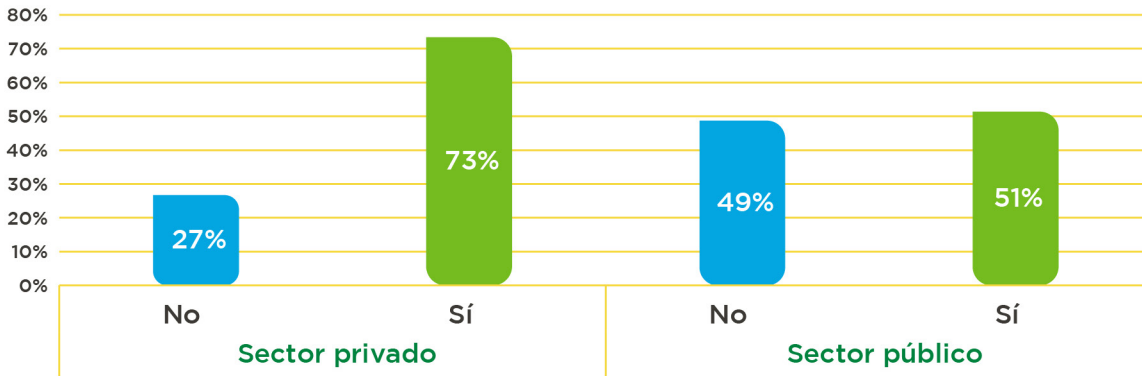
Sector Público

- Cuenta con una adopción avanzada
- Estamos en proceso de implantación con un plan establecido
- Ya se han desarrollado los primeros proyectos piloto
- Se está tomando consciencia

De las respuestas recibidas, también se puede identificar como el sector público se encuentra más rezagado en el proceso de adopción de acciones para la transformación digital, con respecto al sector privado. Acorde a lo analizado, se debe principalmente a la mayor capacidad de inversión por parte de agentes privados, así como la necesidad de ser competitivo frente a otras empresas privadas del sector.

En relación con el impulso a la transformación digital, como se citaba en capítulos anteriores, es clave contar con una estrategia que marque las acciones y directrices para acometer con éxito el proceso de transformación digital. En este sentido, se ha consultado a las diferentes entidades encuestadas, si cuenta con una estrategia de transformación digital, dando como resultado:

► **Existencia de estrategias de transformación digital en las entidades consultadas**

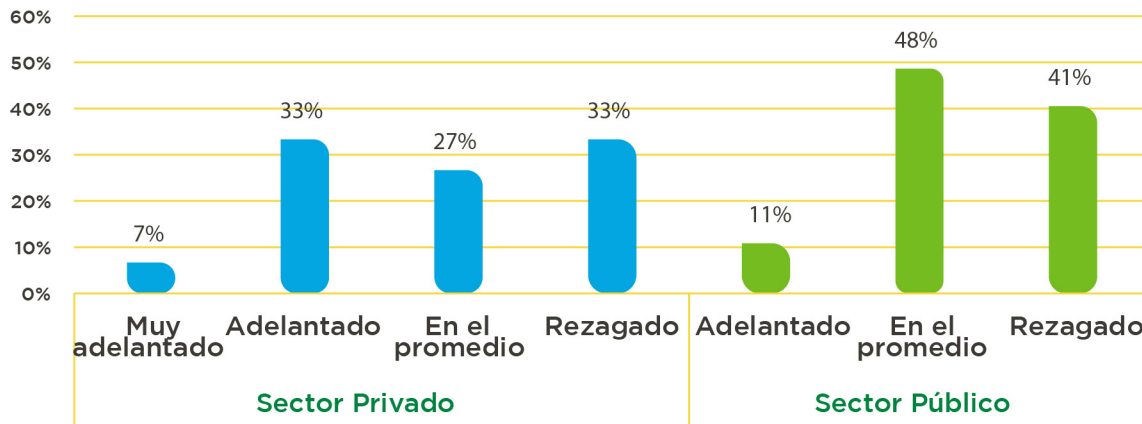


Como se puede observar, las diferencias entre las entidades que poseen una estrategia de transformación digital y las que no, son acentuadas entre el sector privado y el sector público.

En este sentido, los resultados muestran como las organizaciones privadas tienen un mayor avance en el desarrollo de estrategias de transformación digital de sus organizaciones. De ello, se puede interpretar la necesidad que tiene el sector público de la región, de acelerar, mediante el establecimiento de hojas de ruta, planes estratégicos y adaptaciones regulatorias su involucración en el proceso de transformación digital. Es fundamental que el sector público tome la iniciativa, y habilite un adecuado entorno incentivador de despliegue tecnológico, con garantías jurídicas y que anime a una mayor inversión privada.

En cuanto al grado de avance de la transformación digital en la región, desde la visión de los propios agentes, se han obtenido resultados heterogéneos entre los países:

► **Visión del grado de avance de la transformación digital en países de LAC, respecto a otros países de la región**

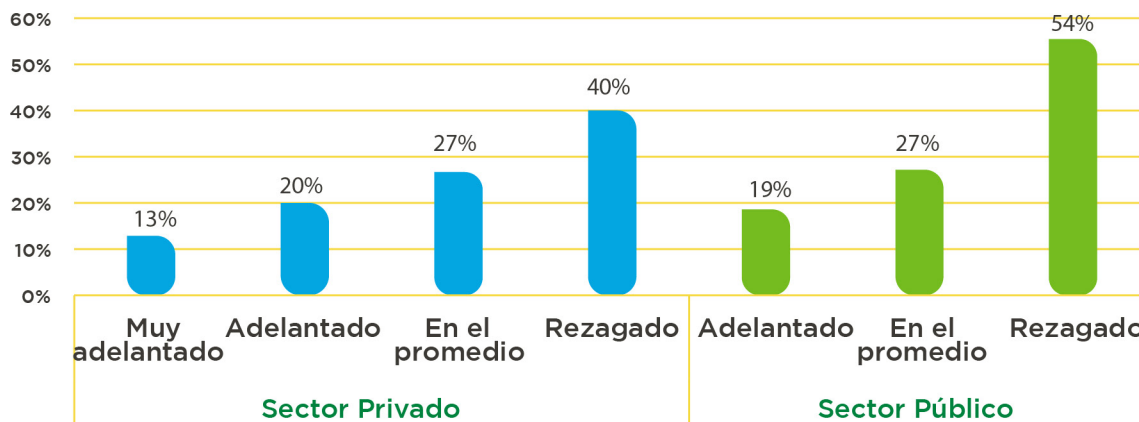


Entre los países consultados, destacan con un grado de avance “Muy adelantado” o “Adelantado”, agentes de Uruguay, Argentina y Chile. La mayoría de las respuestas dadas por los agentes, en este sentido, consideran un grado de avance digital relativamente homogéneo en la región.

Si bien, es destacable que la visión de determinados agentes con un grado de madurez y desarrollo de su sector energético, a priori, más alto respecto al resto de países de la región, como México, consideran encontrarse rezagados en el proceso de transformación digital. Podría deberse a que, en estos países con un grado de madurez del sector superior, tradicionalmente ha existido una fuerte inversión extranjera en el ámbito del sector energético y, por tanto, la visión sobre las tendencias tecnológicas implementadas en el sector tenga mucha influencia de desarrollos tecnológicos exteriores.

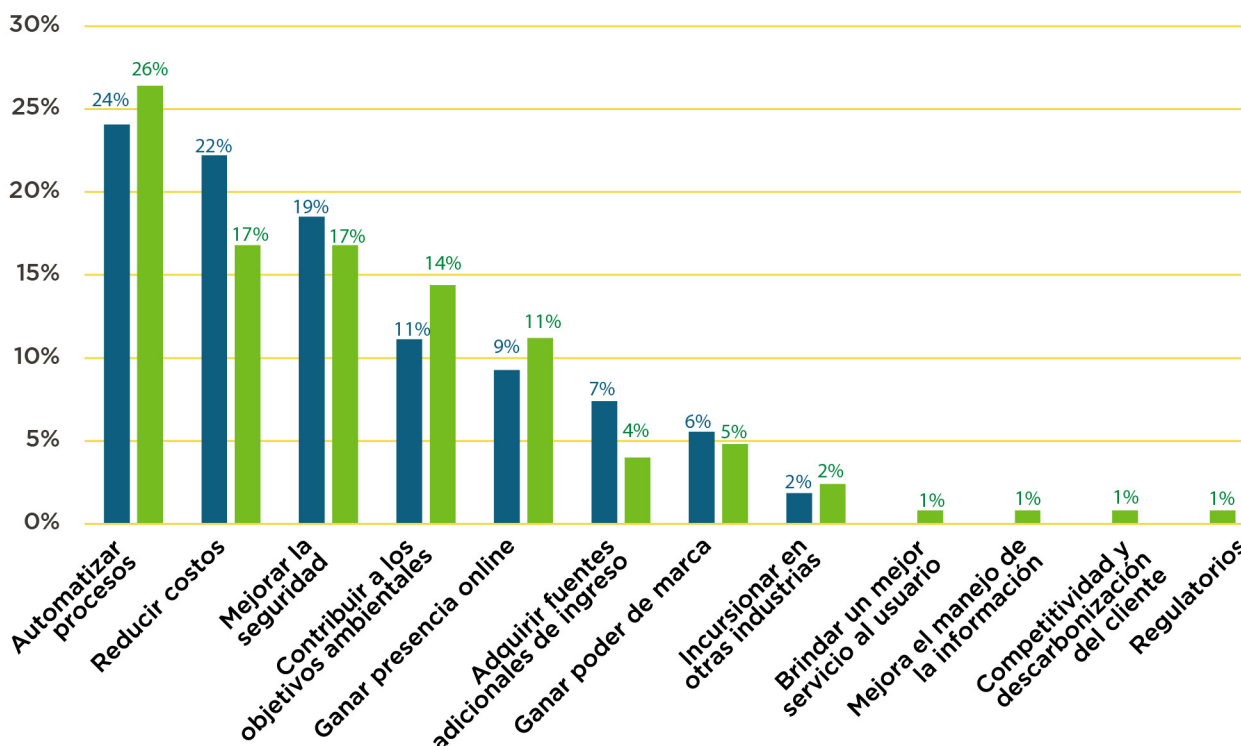
Con respecto al avance de la región en materia de transformación digital, respecto a los países líderes tomados como referencia, las respuestas por parte de los agentes evidencian un pensamiento común de sentir que el proceso de transformación digital en la región está más rezagado, tal y como puede observarse en la siguiente figura, dónde más del 65% de los agentes consultados consideran que su organización se encuentra “Rezagada” o “Muy Rezagada”:

► **Visión del grado de avance de la transformación digital en la región, respecto a países líderes en digitalización del sector energético no pertenecientes a LAC**



En relación con los objetivos que motivan la inversión en tecnologías digitales en el sector energético, los resultados son muy concluyentes, las organizaciones se centran en: “Automatizar procesos”, “Mejorar la seguridad”, “Reducir costes”, “Ganar presencia online”, y “Contribuir a los objetivos climáticos”.

► **Objetivos que motivan la inversión en tecnologías digitales en el sector energético**



Los resultados de la automatización de procesos, mejora de la seguridad y reducción de costes están alineados con los principales objetivos de los países analizados a nivel global. Se necesita un despliegue tecnológico que contribuya a optimizar la operativa de la infraestructura energética, que reduzca costes y haga más competitivo al sector, sin poner en riesgo la seguridad de suministro y la propia integridad del sistema. Es preciso indicar que las organizaciones que desarrollan actuaciones en el área de “Flexibilidad del sistema energético para incorporar renovables” destacan que la automatización de procesos es un factor clave para acometer con éxito la transformación digital.

Por otro lado, es destacable que gran parte de los agentes considere relevante como objetivo del proceso de transformación digital, la contribución que éste tiene a los objetivos climáticos. De cara a la descarbonización del sector, esta visión es clave, puesto que la colaboración entre las entidades públicas reguladoras y el sector privado será fundamental para poder avanzar en la reducción de emisiones, con ayuda de un despliegue tecnológico claro y orientado a combatir también el cambio climático.

5.2. Principales reflexiones extraídas de la visión de los agentes del sector encuestados

El análisis del grado de transformación digital en el sector energético de la región de ALC junto con la visión de los agentes encuestados ha dado lugar a una serie de **reflexiones acerca de los principales desafíos y oportunidades asociadas a dicha transformación.**

- **No existe una definición común (o única) de transformación digital.**
En primer lugar, se ha puesto de manifiesto cómo la **falta de una definición común de lo que se entiende por transformación digital** ha dado lugar unos **resultados sobre el grado de digitalización heterogéneos** y, por tanto, la necesidad de desarrollar una visión compartida y estrategias adaptadas a las diversas realidades.
- **Las tecnologías digitales en ALC ponen el foco en mejorar los procesos actuales en vez de innovar.**
Además, la observación de que mayoritariamente, en la actualidad, **las tecnologías digitales se centran en mejorar procesos existentes** (automatización, robotización, reducción de costes, etc.) en lugar de fomentar la innovación y el desarrollo nuevos modelos de negocio lo que supone que aún existe un gran potencial para un potencial para el desarrollo de la transformación digital del sector en la región.
- **Existe una distribución asimétrica de los costes y beneficios entre los agentes, lo que dificulta este proceso.**
Otro aspecto identificado es la **distribución asimétrica de los costos y beneficios entre los agentes**, lo que dificulta el **proceso de transformación digital en el sector energético de la región de ALC.**

Actualmente, según la percepción de los encuestados, cinco **tecnologías son las que acaparan la mayor parte de la inversión** en esta transformación: Cloud computing, Ciberseguridad, Data analytics/Big Data, Vehículo eléctrico, Drones e IoT/Sensores/AMI. Estas tecnologías son esenciales **para modernizar y mejorar la eficiencia en el sector energético.**

Mirando hacia el futuro, los agentes encuestados **prevén la inversión en Smart Grids/Smart Homes y Machine Learning en los próximos tres años**, con el fin diversificar las inversiones y abordar nuevas áreas de innovación. Estas tecnologías deben desarrollarse a la par que se sigue invirtiendo en las anteriores con el fin de lograr una transformación digital homogénea.

La falta de equidad en la distribución de costos y beneficios podría crear desincentivos para la adopción generalizada de tecnologías digitales, limitando el potencial de desarrollo de la transformación en todo el sector energético. Para abordar esta asimetría, es necesario **fomentar un marco regulatorio sólido a través de políticas y estrategias que incentiven y habiliten el acceso a las tecnologías digitales** con el fin de lograr una transformación digital homogénea en el sector.

Además, la **colaboración entre los diferentes agentes del sector, incluyendo gobiernos, empresas y otros grupos de interés**, es esencial para garantizar que la transformación digital sea inclusiva y beneficiosa para todos en la región de ALC.

- **No existen indicadores técnicos homogéneos de transformación ni de cultura digital.**

Asimismo, en este proceso, se ha puesto de manifiesto la **falta de indicadores técnicos homogéneos de digitalización y cultura digital**. Esta carencia dificulta la evaluación precisa y objetiva del progreso en la adopción de tecnologías digitales y en la promoción de una cultura digital en la industria energética. Sin métricas uniformes, es difícil para las empresas y los reguladores medir de manera consistente el grado de avance en la digitalización y comprender cómo este avance se relaciona con la cultura digital.

- **Los costos de implantación, una regulación inadecuada y una falta de cultura digital son las principales barreras para el despliegue de tecnologías digitales.**

Cabe señalar que, las **principales barreras** identificadas en el despliegue de tecnologías digitales a menudo **están** interconectadas y comparten raíces comunes. Por un lado, los **altos costos de implantación** de estas tecnologías representan un obstáculo significativo para su adopción generalizada. Además, la existencia de una **regulación inadecuada**, que a menudo no está diseñada para fomentar ni respaldar la implementación de tecnologías digitales. Y, por último, la falta de una **cultura digital** que facilite la implantación de este proceso de transformación.

- **Existe un déficit importante de conocimiento y habilidades digitales.**

Además, estas barreras están **relacionadas con el déficit de conocimiento y habilidades digitales en el sector**. La falta de competencias en tecnología digital dificulta la adopción y el aprovechamiento de las tecnologías digitales, lo que a su vez aumenta los costos y los riesgos asociados con la transformación digital. Sin profesionales capacitados en el sector energético que puedan comprender, implementar y gestionar eficazmente estas tecnologías, el proceso se ve obstaculizado y limitado en su impacto potencial.

En conjunto, estos desafíos forman un panorama complejo que requiere un enfoque integrado y coordinado. La definición de indicadores técnicos homogéneos es esencial para medir y evaluar el progreso hacia la digitalización y la cultura digital. Al mismo tiempo, es necesario abordar las barreras financieras y regulatorias, al tiempo que se invierte en la formación y el desarrollo de habilidades digitales para superar el déficit de conocimientos. Este enfoque holístico permitirá que el sector energético de la región de ALC avance hacia una transformación digital efectiva y beneficiosa para todos los actores involucrados.



06

Mejores prácticas globales
identificadas y
potencialmente replicables
en ALC





Tras el análisis de casos de éxito de otros países, así como las potenciales barreras que han ralentizado los procesos de despliegue de las tecnologías, y unido a la visión de los principales agentes que han formado parte del proceso de transformación digital y que han sido contactados durante la elaboración del presente informe, se han identificado una serie de mejores prácticas y lecciones aprendidas de los países que están liderando la transformación digital del sector energético.



6.1. Mejores prácticas y lecciones aprendidas para la transformación digital del sector

Mejores prácticas globales identificadas para la transformación digital del sector

A partir de los análisis realizados sobre determinados países de interés y sus agentes más relevantes, esta sección trata de sintetizar qué aspectos básicos deben considerarse para lograr una exitosa transformación digital del sector, en tres categorías: (i) la regulación como aspecto clave para el desarrollo de la transformación digital, (ii) la colaboración entre agentes del sector para el despliegue de soluciones de transformación digital y (iii) desarrollo de las capacidades e infraestructura existentes en el sector energético. El enfoque de este capítulo incluye la visión institucional y de los reguladores y la de las empresas y agentes del sector.

La regulación como aspecto clave para el desarrollo de la transformación digital

● Desarrollo de pilotos y programas de aprendizaje

Visión institucional y de los reguladores: El desarrollo de normativa requiere de la valoración de su impacto en el corto, medio y largo plazo. Por ello, el desarrollo de programas piloto y bancos de pruebas permite a las entidades regulatorias controlar las pruebas que son evaluadas y monitorizadas, con el fin de orientar posteriormente su regulación a las demandas del sistema, siempre en beneficio de los consumidores y buscando la eficiencia y efectividad de las inversiones desarrolladas en ese marco normativo.

Visión de las empresas y agentes del sector: las inversiones en el sector energético, y especialmente, aquellas que pretenden ser una transformación transversal requiere de sumas económicas reseñables que difícilmente pueden ser ejecutadas sin la correcta seguridad jurídica y certidumbre en el marco normativo que se desarrollan. Por ello, el uso de bancos de pruebas regulatorios, en entornos de prueba acotados, permite trabajar junto al Regulador en adaptar y asegurar que los escenarios normativos desarrollados y probados son positivos, y no producen efectos no deseados al sistema, como sobreinversiones no necesarias o puesta en riesgo de determinados aspectos que garantizan la integridad del sistema.

● **Marco regulatorio estable e incentivador que aporte seguridad jurídica**

Visión institucional y de los reguladores: Se requieren planes y estrategias de digitalización supranacionales, junto con programas de estímulos. Una de las principales preocupaciones del Regulador reside en facilitar el acceso universal a la energía eléctrica por parte de los consumidores al menor coste posible, para ello, demandan una adecuada planificación de las inversiones en activos digitales que les permita llevar un control de las actividades. Por otro lado, el uso del dato en la revolución digital es clave; pero también podría suponer vulnerabilidades en la protección y en los derechos de los consumidores. Por ello, el marco regulatorio debe favorecer que los consumidores también conserven el control sobre sus datos. Esto ayudará a que los consumidores demanden desde un ambiente seguro y de confianza el incremento de la dotación tecnológica y digital del sector.

Visión de las empresas y agentes del sector: el despliegue de infraestructura digital requiere de grandes inversiones que deben ser ejecutadas principalmente por agentes privados, y recuperadas en amplios periodos de tiempo. Estos inversores demandan un marco regulatorio estable que les aporte seguridad jurídica de que van a recuperar las inversiones realizadas con una rentabilidad razonable en el largo plazo. De igual forma, los marcos jurídicos establecidos tienen que promover el empoderamiento de los consumidores a la vez que su protección.

Finalmente, se recomienda desarrollar metodologías tarifarias de largo plazo, que no sean deficitarias para el Sistema, así como crear herramientas para involucrar la digitalización en mercados competitivos, al mismo tiempo que se protege a los inversores y empresarios de volatilidades “down-side”.

● **Apoyar el desarrollo de planes regionales de impulso al proceso y estrategias internacionales**

Visión institucional y de los reguladores: los sistemas energéticos, cada vez están más expuestos a la globalización y es por ello, que su desarrollo también debe acompañarse del desarrollo de alianzas internacionales entre operadores, con otros agentes de la cadena de valor e incluso con compañías tecnológicas que favorezcan e impulsen desarrollos parejos. Así pues, es especialmente relevante que países de la región establezcan estrategias comunes para garantizar crear sinergias que incentiven el despliegue de la digitalización a lo largo de toda la región. La creación de una visión compartida puede favorecer el surgimiento de oportunidades en la cadena de valor industrial, favoreciendo una producción local que derive en impactos positivos en términos de inversión y creación de empleo.

Visión de las empresas y agentes del sector: la revolución digital también pasa por la modernización del sistema energético en las proximidades del consumidor, como por ejemplo con el desarrollo de Smart cities. Esto puede favorecer la creación de sinergias entre ciudades que acometan estas transformaciones, con el objetivo de establecer parámetros comunes de desarrollo que garanticen modelos de éxitos replicables en otros emplazamientos de la región que se encuentren con un grado de madurez digital menor.

Asimismo, un aspecto positivo es la creación y puesta en marcha de organismos asociativos vinculados al impulso a la transformación digital de las regiones, garantizando que los mejores modelos de desarrollo puedan ser replicados a través del intercambio de conocimiento, en otros lugares de la región. Estos foros, son especialmente de interés para los agentes más industriales de

la cadena de valor del sector energético, como es el sector de producción de equipos o el desarrollo de herramientas software digitales, ya que pueden conocer de primera mano las necesidades del sector, y de esta manera centrar sus esfuerzos inversores en dar respuesta a la demanda del sistema.

La colaboración entre agentes del sector para el despliegue de soluciones de transformación digital

Promoción de la conectividad y la interoperabilidad entre agentes de la cadena de valor:

Visión institucional y de los reguladores: los reguladores son conscientes de la necesidad de disponer y promover el despliegue de comunicaciones inteligentes, ya que sin ellas no sería posible el aprovechamiento de toda la información que se captura y se procesa sobre las infraestructuras.

Visión de las empresas y agentes del sector: el elemento clave para digitalizar cualquier sistema es el acceso al dato. Los datos, recabados a través de los dispositivos digitales, son la base del proceso de transformación, por lo que debe promoverse el intercambio continuo de datos entre los agentes involucrados en el sistema energético, para optimizar la operación y ofrecer un impacto positivo en los consumidores.

Promover sinergias entre diferentes sectores y agentes de la cadena de valor:

Visión institucional y de los reguladores: la cooperación entre agentes es vital para garantizar el éxito de la revolución digital. Es por ello, que desde los países de la región debe promoverse la cooperación y la creación de sistemas de innovación en los que se puedan crear alianzas estratégicas entre miembros de diferentes subsectores de la cadena de valor. Así pues, por ejemplo, los fabricantes de bienes de equipos deben conocer las necesidades de los operadores de las infraestructuras energéticas, para poder centrar su producción y su desarrollo de nuevos equipos, en la demanda del sector. Esto derivará en que la cadena de valor alinee sus estrategias y objetivos de tal manera que sea una cooperación exitosa para todas las partes.

Visión de las empresas y agentes del sector: los entes reguladores deben conocer las necesidades en materia de nuevos servicios y funcionalidades que demandan los operadores de las infraestructuras energéticas, de tal manera que puedan incentivar o promover a través de los marcos reguladores, la inversión en determinadas áreas que consideren más eficientes para lograr los objetivos de digitalización marcados.

Igualmente, se solicita una mayor participación pública en el desarrollo de prototipos y pilotos de ámbito local de bajo grado de madurez tecnológica y programas de estímulo adecuados, que eviten la deslocalización industrial.

Promover la participación de los consumidores a través de nuevas figuras, servicios o modelos de negocio:

Visión institucional y de los reguladores: uno de los aspectos críticos y la finalidad de la transformación digital es la importancia de dotar a los usuarios energéticos de mayor relevancia en la toma de decisiones del sistema energético, de tal manera que a través de un conocimiento superior sobre sus consumos, sus posibilidad de participación en los mercados energéticos, y por ejemplo, su capacidad de impulsar el autoconsumo a través de la figura del prosumidor o de las comunidades energéticas, se mejore la eficiencia del sistema. Se debe promover la concienciación ciudadana en torno a los consumos energéticos.

Visión de las empresas y agentes del sector: los agentes privados reclaman claridad en la definición de nuevos modelos de negocio y qué agentes del sector están habilitados para la realización de cada actividad. Es clave facilitar el acceso a los consumos energéticos de los clientes a través de aplicativos digitales.

- **Garantizar y respetar la sostenibilidad en la revolución digital:**

Visión institucional y de los reguladores: la transición ecológica necesaria para poner freno al cambio climático pasa indudablemente por la transformación del sector energético hacia modelos más sostenibles. En este sentido, la revolución digital es crítica para garantizar su éxito. Si bien, es necesario que el despliegue tecnológico y digital en el sector, sea eficiente y climáticamente neutro, puesto que el procesamiento de los datos suele implicar consumos energéticos elevados. Por ello, es necesario que la habilitación de fuentes de generación renovable, vía digitalización, garantice que el uso de energía en las labores de acceso, procesamiento y uso del dato es completamente sostenible. Se deben promover estrategias de transición energética con un componente muy relevante de promoción de la sostenibilidad (reducción de huellas de carbono de agentes y equipos, ecodiseños, economía circular, etc.).

Visión de las empresas y agentes del sector: es positivo que los desarrollos tecnológicos se acompañen de la garantía, a través de, por ejemplo, etiquetados ambientales, que garanticen que la transformación digital del sector se está efectuando con el mínimo impacto en la huella ambiental posible, y con respeto hacia el medio ambiente.

A su vez, además de cumplir con normativa y objetivos de descarbonización locales, se reclaman incentivos (regulatorios, fiscales, etc.) que permita agilizar el proceso transformacional.

Desarrollo de las capacidades e infraestructuras existentes en el sector energético

- **Mejorar las capacidades digitales de los agentes y los consumidores:**

Visión institucional y de los reguladores: se está trabajando en el desarrollo de programas de concienciación social la digitalización está evolucionando tan rápido dentro de nuestra sociedad, que debe tenerse en cuenta para no perder oportunidades por falta de capacidad. En este sentido, es necesario garantizar que tanto los consumidores como los agentes, cuenten con la capacidad digital para participar en este proceso transformador y, por tanto, debe tenerse en cuenta durante el diseño de herramientas digitales, la necesidad de garantizar la accesibilidad a la mayor parte de los consumidores a estas nuevas interfaces digitales, de tal manera que éstas se ajusten plenamente a sus necesidad, hábitos y expectativas. Esto es especialmente crítico teniendo en cuanto el cambio generacional y demográfico, ya que los usuarios energéticos de mayor edad demandan un apoyo en torno a la transición digital.

Visión de las empresas y agentes del sector: se traslada un especial énfasis en la necesidad de desarrollar una cultura corporativa digital y en interiorizar el uso de herramientas digitales. Los cambios culturales se dan desde la Dirección de la empresa hacia el resto de los empleados. Para ello, es muy importante desarrollar programas internos de digitalización adaptados a cada puesto de trabajo.

- **Fomentar las inversiones en modernización de infraestructuras energéticas:**

Visión institucional y de los reguladores: el proceso de digitalización requiere de la interacción entre agentes y dispositivos, y por tanto del intercambio de gran cantidad de información y datos que doten de flexibilidad y eficiencia al sistema. En este sentido, es especialmente crítica la modernización de las redes energéticas, que son el vector de unión entre la generación y la demanda. Para ello, se requiere de la coordinación y cooperación entre los agentes públicos y privados que movilicen la inversión en dotar de inteligencia a las infraestructuras energéticas.

Visión de las empresas y agentes del sector: se reclaman programas de apoyo para el I+D+i, testeo y pilotaje de inversiones destinadas a mejorar las funcionalidades de las redes, a través del despliegue de tecnologías de automatización, comunicación y sensorización, sin olvidar la necesidad de que este despliegue se acompañe de desarrollos de ciberseguridad.

Por otro lado, los agentes privados entienden oportuno que los países que pongan en marcha programas de transformación que incentiven la digitalización y la innovación. En este ámbito es crítico que los reguladores nacionales del sector energético determinen cuales son las inversiones eficientes en términos de digitalización (aporten las señales regulatorias oportunas), y que se concedan incentivos a los agentes encargados de llevar a cabo el proceso de modernización de las infraestructuras energéticas, como los operadores de las redes de transporte y distribución de energía.

- **Necesidad de impulsar una mano de obra cualificada que garantice el éxito del proceso transformador:**

Visión institucional y de los reguladores: la evolución tecnológica constante requiere que los cambios vertebradores de la digitalización se apliquen con la suficiente agilidad para evitar la obsolescencia de la tecnología desplegada. Por ello, es vital que exista mano de obra cualificada que garantice un rápido despliegue. Para ello, el fortalecimiento de los sistemas de formación y educación en materia de áreas tecnológicas, digitales y ciberseguridad, a nivel regional, garantizará la existencia de profesionales cualificados para garantizar la agilidad de la transformación digital.

Visión de las empresas y agentes del sector: el sector privado refuerza los planteamientos del sector público y solicita un adecuado tratamiento y/o reconocimiento de inversiones en activos digitales (hardware y software).

Visión de las universidades y centros de conocimiento: El sector académico y la cadena de valor industrial deben ir alineados en el desarrollo de las competencias requeridas para garantizar que los profesionales cuenten con las capacidades necesarias para garantizar el desarrollo y correcto despliegue y funcionamiento de tecnologías disruptivas. Igualmente, las hojas de ruta y los programas de estímulos que algunos países están desarrollando deben incorporar partidas y planes específicos para impulsar que la mano de obra cualificada se desarrolle en las proximidades de los centros productivos.

- **Incrementar la resiliencia del sistema energético y de su infraestructura crítica ante eventos meteorológicos adversos:**

Visión institucional y de los reguladores: en la época actual, cada vez es más común la existencia de fenómenos naturales catastróficos derivados del cambio climático. Episodios de grandes inundaciones, grandes incendios forestales o profundas precipitaciones, pueden poner en riesgo la seguridad de suministro, derivando en impactos negativos a los consumidores y los sistemas productivos que tienen el suministro energético como eje tractor de su crecimiento.

En este sentido, desde las entidades reguladores debe garantizarse que los agentes privados inviertan en asegurar la resiliencia de sus activos energéticos, no únicamente a través de la mejora constructiva de estos elementos, sino muy especialmente a través de una planificación adecuada de su red de activos. Para ello, es vital el uso de tecnologías de virtualización digital de los sistemas energéticos, como puede ser el uso de gemelos digitales que permitan simular condiciones extremas en base, por ejemplo, a patrones climáticos adversos.

Visión de las empresas y agentes del sector: se debe permitir a los agentes identificar y ejecutar las actuaciones (de inversión u operación y mantenimiento) de cada activo, con el fin de realizar las actuaciones más apropiadas en cada caso. Por otro lado, se está trabajando en el desarrollo de gemelos digitales, entre otras soluciones innovadoras, para realizar simulaciones y escenarios de impacto y, a partir de ellos, poder realizar planes de contingencia y una mejor planificación de las inversiones de los próximos años. En el contexto de la región de ALC, donde los eventos climáticos extremos y la variabilidad hidrológica pueden tener un impacto significativo en la seguridad energética, es esencial enfocar esfuerzos en mejorar la medición de hidrología y perfeccionar la proyección de escenarios climáticos.

- **Refuerzo y desarrollo continuo de la ciberseguridad del sistema energético:**

Visión institucional y de los reguladores: En este ámbito, es clave igualmente el desarrollo de estrategias de ciberseguridad específicas por parte de los organismos públicos y entidades reguladores, para adoptar y/o reconocer estándares internacionales ya establecidos que protejan los derechos de los consumidores a un acceso energético seguro.

Visión de las empresas y agentes del sector: la ciberseguridad desempeña un papel fundamental en el proceso de transformación digital, puesto que garantiza la fiabilidad de los sistemas energéticos cada vez más digitalizados. En este sentido, es necesario que el desarrollo de nuevas herramientas digitales se acompañe del desarrollo de nuevas funcionalidades en materia de ciberseguridad, para garantizar en todo momento la integridad del sistema energético. Igualmente, estos desarrollos de ciberseguridad deben abarcar la totalidad de la cadena de valor, de tal manera que, desde la producción, hasta las redes energética y los consumidores se encuentren protegidos ante vulnerabilidades cibernéticas.

Lecciones aprendidas para la transformación digital del sector

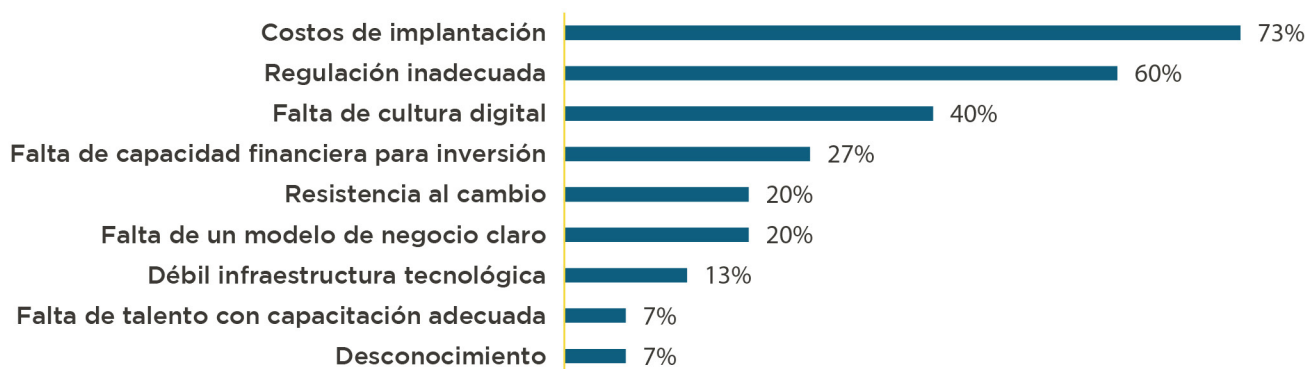
Durante el transcurso del trabajo se han llevado a cabo entrevistas y contactos con agentes del sector, que operan en los países analizados. En este proceso, se han identificado una serie de lecciones aprendidas y elementos clave que deben considerarse para garantizar el éxito del proceso de transformación digital. Serían los siguientes:

- Impulso a una **regulación actualizada y alineada con las nuevas demandas del sector** y los consumidores, **que aporte certidumbre y seguridad jurídica** a los inversores. Así como a una normativa sobre la gobernanza de datos, que proteja la seguridad de los datos del usuario que se miden y analizan por parte de los agentes del sector.
- **Transformación cultural, empresarial y social, y de los órganos reguladores**, que garantice una toma de decisiones de forma ágil y óptima.
- Fomento de la **colaboración público-privada para la elaboración de una hoja de ruta de la transformación digital** consensuada entre los agentes del sector (públicos y privados).
- Inversión en **modernización de la infraestructura energética actual**, para orientarla a las necesidades derivadas de la transición energética (incorporación de renovables y nuevos negocios).
- Identificación de parámetros que permitan **medir adecuadamente el gran de avance en el proceso de transformación digital**, para orientar los pasos en el medio-largo plazo.
- **Prevención y anticipación ante la aparición de potenciales riesgos o barreras** que supongan una desaceleración de la revolución digital del sector.
- **Dotación de recursos económicos y humanos** a las tareas destinadas a avanzar en el proceso de transformación digital del sector.
- Avance en el **despliegue de tecnologías disruptivas** que empoderen al consumidor, habiliten nuevas formas de generación sostenible y aumenten la resiliencia del sistema.

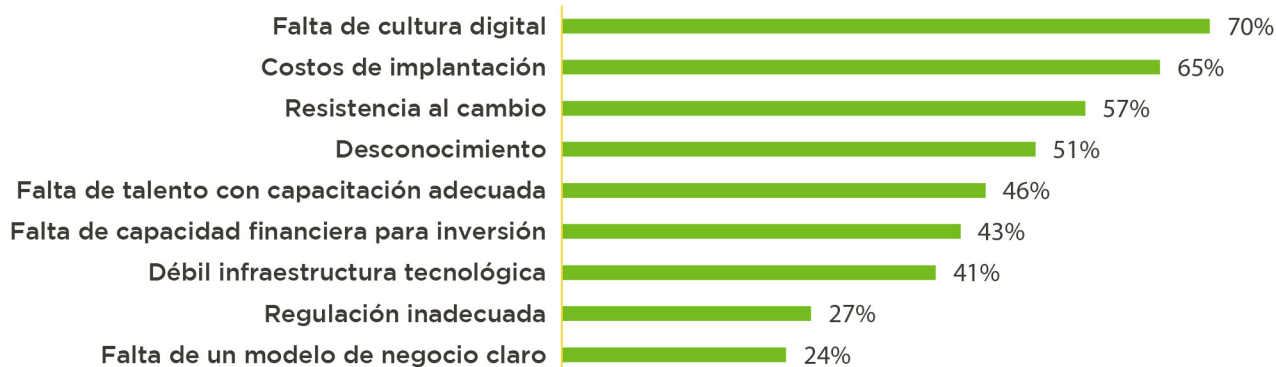
6.2. Recomendaciones para acelerar la transformación digital en la región

En base al análisis de la visión de los principales agentes del sector energético en la región de ALC, **se han identificado una serie de barreras para la implementación eficaz de la transformación digital**. Aunque éstas son diferentes para los agentes encuestados del sector público y del sector privado, tal y como se muestra en el gráfico que aparece a continuación, se ha puesto de manifiesto que **la ausencia de un marco regulatorio sólido, la falta de conciencia o cultura digital y los costes asociados a la implantación de dicha transformación son tres de las barreras más relevantes**.

Barreras identificadas por el sector privado



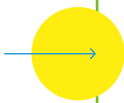
Barreras identificadas por el sector público




Por lo tanto, y en vista de las mejores prácticas identificadas en el análisis de la transformación digital en los países líderes, se han extraído cinco recomendaciones relevantes para acelerar su desarrollo en la región:

- 1. Un marco regulatorio moderno y estable.** La regulación se considera un aspecto clave, de carácter incentivador, para que las empresas del sector privado inviertan en el despliegue de nuevas soluciones para la transformación digital del sector. En concreto, disponer de una definición técnica compartida o de objetivos concretos proporciona certidumbre en el tiempo y seguridad jurídica en el despliegue de tecnologías disruptivas o nuevos modelos de negocio.

Cabe señalar que los países analizados ya disponen o se encuentran en proceso de desarrollo de regulación específica en el ámbito de la transformación digital. Algunos de ellos, como Reino Unido, se apoyan en herramientas como los bancos de pruebas regulatorios con el fin de lograr un desarrollo rápido e involucrar a los grupos de interés identificando las principales barreras regulatorias a las que se enfrentan al desplegar soluciones de digitalización a nivel sectorial. Otros, como Italia, España y Portugal, evolucionan a partir de objetivos concretos e incentivados por la Unión Europea, a través de sus Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima.

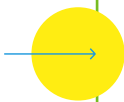


Tras analizar el estado de la región de ALC, se recomienda, como primer paso, el desarrollo de una visión compartida de transformación digital, así como desarrollar estrategias y planes que definan objetivos claros y se adapten a las diversas realidades locales. Ya que, según ha manifestado un **37% de los agentes del sector encuestados, la existencia de una regulación inadecuada es una restricción para el avance de la transformación digital en el mismo.**




2. Incentivos económicos para la inversión en digitalización. Una adecuada transformación digital del sector energético va a suponer un incremento de la calidad y la eficiencia, que podría traducirse en un ahorro económico para el sistema energético. Sin embargo, para llegar a ese punto, se requieren incentivos económicos a la inversión que permitan una transformación digital homogénea del sector.

De todos los países analizados, cabe destacar el ejemplo de Estados Unidos que dispone de programas de apoyo económico destinados a reforzar la infraestructura de red mediante la implementación de tecnologías digitales disruptivas, por ejemplo, con programas como el *Inflation Reduction Act* o el *Smart Grid Investment Program*. Asimismo, en los países de la Unión Europea, tras el COVID-19, se han desplegado una serie de medidas a través de los fondos europeos para incentivar el desarrollo de infraestructura energética, así como la innovación a nivel sectorial, a través de nuevos modelos y vectores energéticos.



En el contexto de la región de ALC, se ha identificado una distribución desigual de costes y beneficios entre los actores involucrados, lo que puede desincentivar la adopción generalizada de tecnologías digitales. Para abordar esta asimetría se requiere **la implementación de políticas y estrategias que fomenten el acceso equitativo a las tecnologías digitales y la colaboración entre gobiernos, empresas y organizaciones.** En este sentido, los costos de la transformación digital son la principal barrera identificada, por un **67% de los agentes encuestados**, para el desarrollo de la transformación digital.



3. Adopción tecnológica hacia modelos y servicios disruptivos. Parte del proceso de transformación digital integra la necesidad de disponer de tecnologías digitales disruptivas junto al aprovechamiento máximo de su potencial en el sector. En otras palabras, el objetivo final de esta transformación trasciende el hecho de lograr una mayor eficiencia de los procesos, y tiene una óptica más amplia que involucra la introducción de nuevos modelos de negocio que involucren al usuario final como un agente más del mercado.

Los países líderes en transformación digital analizados comparten esta visión, que va más allá de introducir mejoras sobre el sistema existente, para dar lugar a un modelo más disruptivo. En concreto, Corea del Sur dispone de una industria muy potente en el ámbito del desarrollo de las tecnologías de la información que hace que disponga de soluciones digitales disruptivas aplicables al ámbito energético.

A partir de las ideas extraídas del análisis del estado actual de la región, se ha observado que **las tecnologías digitales tienden a destinarse mayoritariamente a mejorar procesos existentes en lugar de a fomentar la innovación y nuevos modelos de negocio**, lo que supone que aún queda potencial por explotar en la transformación digital del sector, sobre todo en los ámbitos más disruptivos tecnológicamente. De acuerdo con las barreras identificadas por parte de los agentes encuestados, se considera clave invertir en nuevas tecnologías. Un **33% de los agentes encuestados consideran que la infraestructura tecnológica actual es débil**. Esta visión se refuerza especialmente en el sector público, con más de un 41% de los agentes públicos del sector considerándolo como una barrera para el despliegue eficaz de la transformación digital.

4. Cultura digital. Unida al progresivo desarrollo digital, existe un cambio en la conciencia social que impulsa al sector energético hacia nuevos modelos de negocio cada vez más digitalizados.

Un aspecto común identificado en los países líderes y, sobre todo, en las conversaciones con agentes relevantes a nivel sectorial, es la implementación de estrategias y planes por parte de los agentes privados del sector energético para desarrollar competencias digitales e impulsar la transformación digital desde el núcleo de las empresas, hacia los clientes.

En la actualidad la región refleja un potencial de mejora en la **definición de indicadores técnicos uniformes y una cultura digital sólida** que dificultan la evaluación precisa del progreso en la adopción de tecnologías digitales y la promoción de una cultura digital en la industria energética. Con el fin de hacer frente a estos desafíos, **la región debe invertir en el desarrollo de los conocimientos y habilidades digitales en el sector**. En este contexto, algunos **factores limitantes** destacados por parte de los agentes encuestados para el **avance de la transformación digital del sector, en orden de relevancia, son: la falta de una cultura digital, el desconocimiento y la resistencia al cambio**.

5. Colaboración público-privada para cadenas de valor digitales en el sector. La necesidad de un notable despliegue de tecnologías digitales para llevar a cabo con éxito el proceso transformador, puede traccionar el desarrollo de una industria de proximidad más moderna y orientada a las necesidades sectoriales, como la evolución del sector de la fabricación de bienes de equipo. Para esto también se necesita la inversión del sector privado.

En este sentido, regiones como Europa y Estados Unidos, han puesto en marcha iniciativas transectoriales para reindustrializar sectores que progresivamente fueron perdiendo potencial industrial en favor de otras regiones.

Particularmente, **la región de ALC presenta importantes ventajas** con respecto a otras regiones: la **presencia en su territorio de recurso renovable y reservas de minerales estratégicos de interés para los nuevos modelos de negocio energéticos**. Esto puede conducir a un impacto positivo en la sociedad a través de la creación de empleos cualificados y oportunidades de industrialización.

6.3. Potencial de replicabilidad de las mejores prácticas a medio y largo plazo

En este sentido, tras el análisis de diferentes mejores prácticas que han garantizado un despliegue efectivo en otras regiones del mundo, la evolución de implementación desde el medio plazo (Horizonte 2030) hasta el largo plazo (Horizonte 2050) en la región debería ser el siguiente:

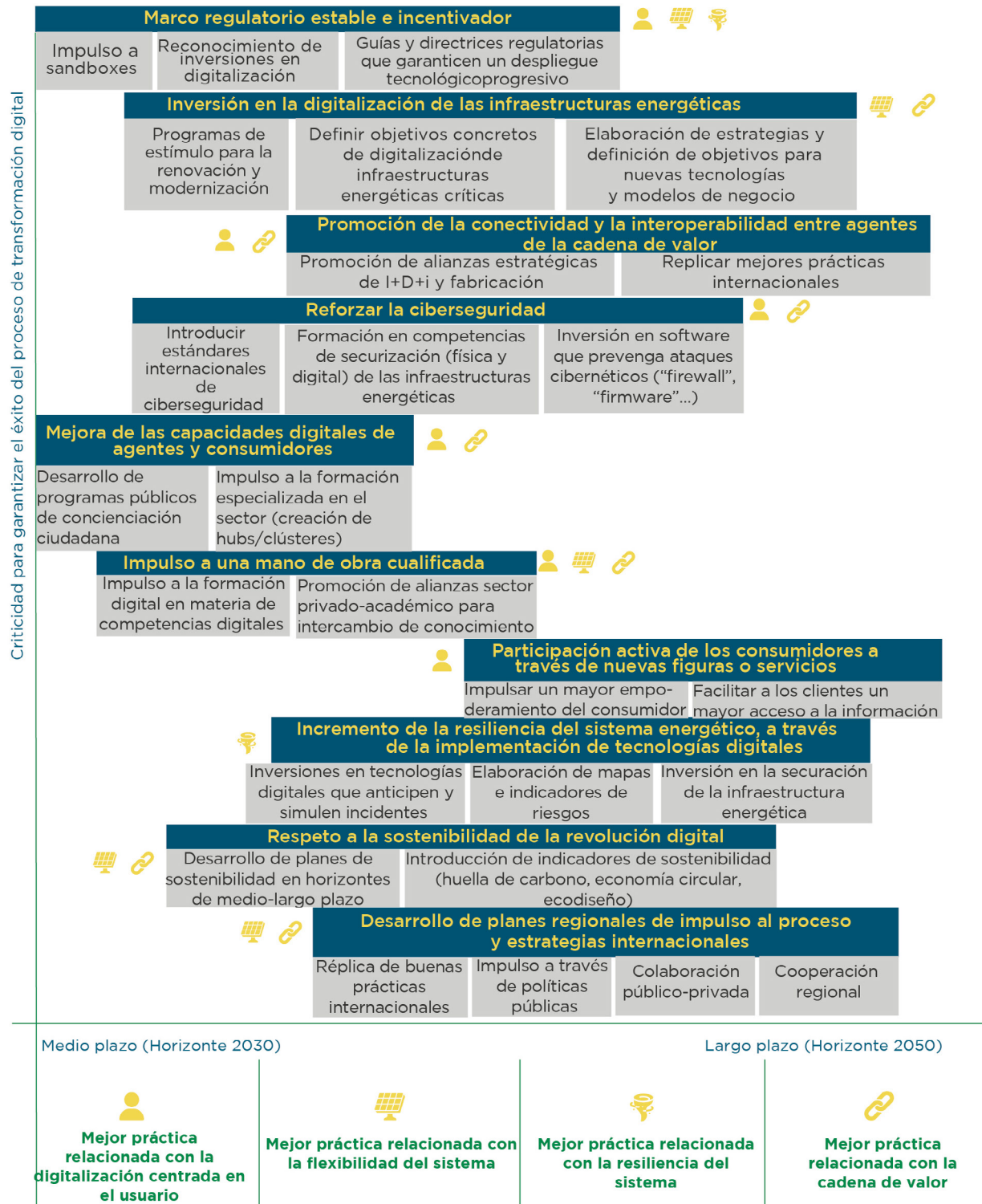


Figura 17. Desarrollo temporal de mejores prácticas en el entorno de la transformación digital del sector energético. Fuente: Elaboración propia.

Tras dicho análisis, se habría identificado, como un primer paso para el desarrollo de los procesos de transformación digital en el sector energético, la **puesta a prueba de la idoneidad y la efectividad tanto de las tecnologías digitales**, como de las **medidas regulatorias** que resultan necesarias para lograr el despliegue generalizado de soluciones digitales.

Esto puede suponer un punto de partida para **establecer las bases y un marco regulatorio inicial** (*Marco regulatorio estable e incentivador*) que aporte **certidumbre, estabilidad y atraiga la inversión hacia el ámbito del despliegue tecnológico** en el sistema energético. Para conseguirlo, es clave llevar a cabo una etapa inicial de **lanzamiento de proyectos piloto** (*Impulso a los bancos de pruebas regulatorios*), con el objetivo de orientar los nuevos desarrollos normativos de aplicación a las propuestas y despliegues tecnológicos más eficientes para los sistemas energéticos desde el punto de vista del coste-beneficio. Asimismo, se deben establecer objetivos concretos, adaptados a las realidades locales, basados en las mejores prácticas identificadas en el sector, que permitan el desarrollo eficaz de la transformación digital (*Desarrollo de planes regionales de impulso al proceso y estrategias internacionales*).

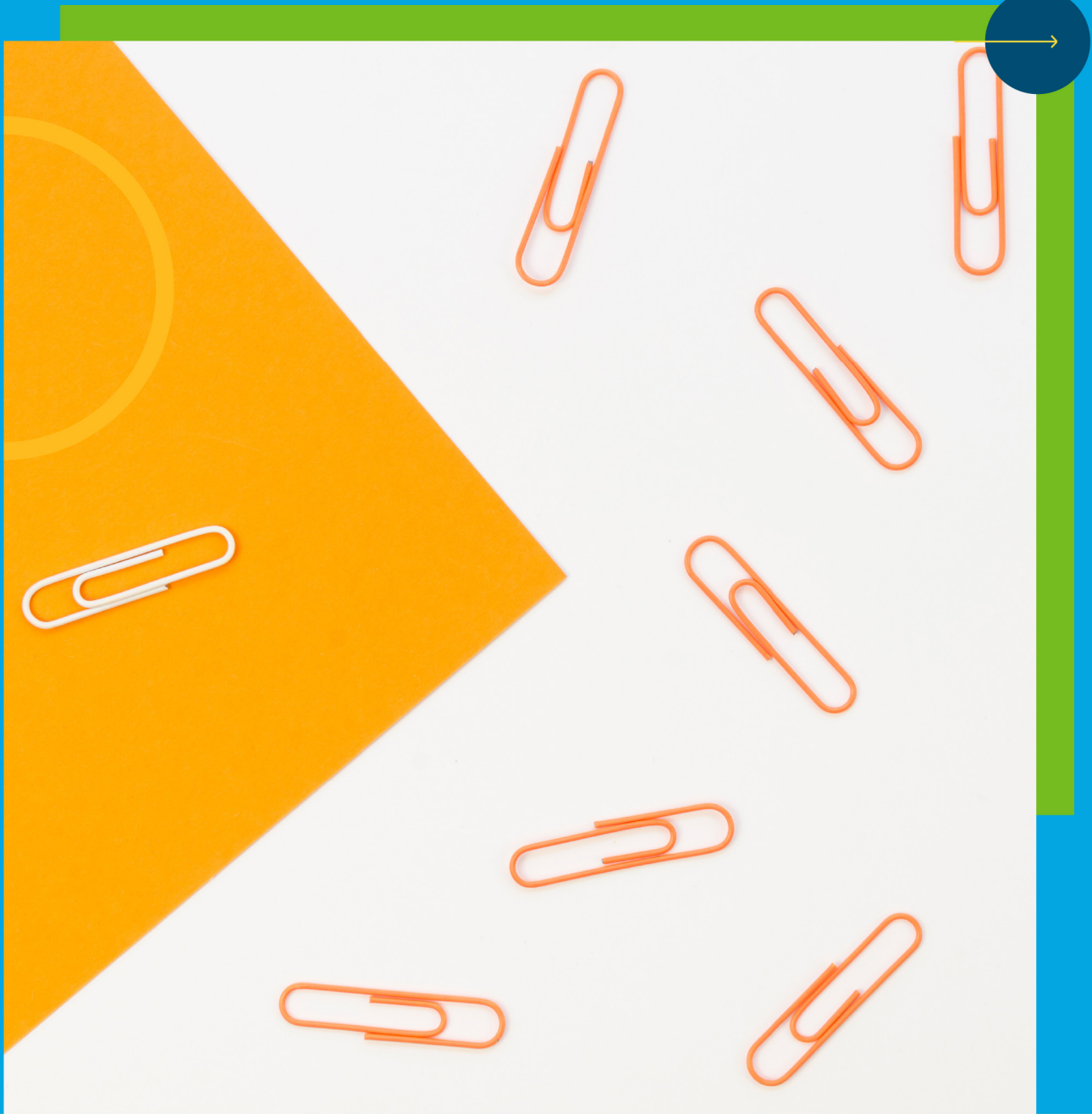
Este proceso, tiene que acompañarse igualmente, de un progresivo cambio cultural y empresarial, que parta desde los inicios de la transformación digital, para contribuir a una progresiva involucración de todos los agentes en el proceso. De igual forma, el **cambio del modelo cultural y empresarial de las organizaciones** (*Mejora de las capacidades digitales de agentes y consumidores*) a medio plazo, con un progresivo cambio del modelo de liderazgo, contribuirá a dotar al proceso de mayor financiación y de fomentar el talento profesional en áreas de desarrollo tecnológico, dedicando recursos económicos y humanos al crecimiento digital (*Impulso a una mano de obra cualificada*).

Concretamente, en el **medio plazo** (Horizonte 2030) también debe definirse las directrices que habiliten los cambios necesarios en el sector. Esto es **invertir y modernizar la infraestructura energética actual** (*Inversión en la digitalización de la infraestructura energética*), a través de incentivos regulatorios y económicos que fomenten la inversión privada, de tal forma que se permita la incorporación de tecnologías disruptivas de interés cuando el grado de madurez tecnológico aún es bajo, como tecnologías basadas en comunicaciones inteligentes, sensorización o medición inteligente.

Además, en el **largo plazo** (Horizonte 2050), según se vayan **dotando de soluciones digitales los sistemas energéticos**, que permitan aumentar su resiliencia (*Incremento de la resiliencia del sistema energético a través de la incorporación de tecnologías digitales*) con la incorporación de tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial, los gemelos digitales, o el Edge computing entre otros, deberán desarrollarse otros ámbitos para garantizar la **integridad del sistema en este entorno de interconectividad, como la ciberseguridad** (*Reforzar la ciberseguridad*).

De igual forma, desde el punto de vista de las políticas públicas en el largo plazo, deberán establecer **sinergias entre agentes del sector, para promover alianzas estratégicas que garanticen nuevas oportunidades a lo largo de la cadena de valor** (*Promoción de la conectividad y la interoperabilidad entre agentes de la cadena de valor*).

Todo este desarrollo debe perseguir el objetivo de lograr una mayor sostenibilidad en el sector energético (*Respeto a la sostenibilidad de la revolución digital*).



Anexos







Anexo A. Tecnologías para la digitalización del sector energético

En esta sección se abordarán las principales tecnologías que están impulsando la transformación digital del sector energético a nivel global. Para ello, se ha realizado el análisis de las diferentes tendencias en cuanto al despliegue de soluciones tecnológicas implementadas en el sector energético, llevadas a cabo por países de distintas regiones, y que están teniendo éxito contrastado en el avance hacia sistemas energéticos digitales, interconectados, fiables y resilientes.

Tecnologías emergentes en el ámbito de la transformación digital

Para entender el proceso de transformación digital, y las oportunidades inmersas en el despliegue de las diferentes tecnologías digitales disponibles en el mercado, es clave conocer las posibilidades que ofrece cada una de ellas. En este sentido, actualmente existen numerosas tecnologías emergentes y disruptivas en el sector energético, que están progresivamente siendo implementadas:

	 Digitalización centrada en el usuario	 Flexibilidad del sistema para incorporar renovables	 Resiliencia de los sistemas energéticos	 Impacto en la cadena de valor
Blockchain	●	●	○	●
Big data	●	●	●	○
Cloud computing	●	●	●	○
Sensorización	●	●	●	○
Advanced Metering Infrastructure (AMI) & Smart Meters	●	○	○	○
Inteligencia Artificial (IA)	●	●	●	●
Gemelo Digital	○	●	●	○
Internet of Things (IoT)	●	●	●	●
Robotización	○	●	●	●
Drones	○	●	●	●
Realidad Aumentada	●	●	○	○
Conexión 5G	●	●	●	○
Fibra óptica	●	○	○	○
Edge Computing	○	●	●	○
Ciberseguridad	●	●	●	●

Cuadro 4. Clasificación de tecnologías emergentes innovadoras en el sector energético. Fuente: Elaboración propia.

Una vez clasificadas las tecnologías en base al área tecnológica en la que se enmarcan, cabe señalar a continuación cuáles son los impactos y beneficios específicos que se puede esperar de cada una de ellas en las principales áreas de desarrollo de la transformación digital.



El usuario está cambiando su rol, posicionándose en el centro de los sistemas energéticos. Este cambio, requiere empoderar a los consumidores a través del dato, dotándoles de información en tiempo real sobre ciertos parámetros de interés para ellos, como consumos, precios de mercados, flujos energéticos en el caso de generación distribuida y autoconsumo, o transacciones entre pares.

En este nuevo escenario, se hace evidente la necesidad de realizar despliegues tecnológicos que garanticen la recogida de datos dentro del sistema energético. En este sentido, tecnologías como la infraestructura de medición avanzada e inteligente (**AMI & medidores inteligentes**), puede contribuir a que en los puntos de consumo e infraestructuras energéticas se pueda capturar información sobre su estado. La novedad con respecto a la medición electromecánica o analógica es que estos dispositivos permiten la disposición inalámbrica y en tiempo real de los datos de consumo, que pueden ser utilizados en la toma de decisiones del cliente. Especialmente en el sector eléctrico, los medidores inteligentes desempeñan un papel fundamental en las redes inteligentes, ya que permiten la gestión de la carga del sistema y los recursos desde el lado de la demanda.



Este despliegue se considera básico para iniciar el proceso de transformación digital y, es por ello por lo que, en el año 2022, se superaron los mil millones de medidores inteligentes desplegados a nivel mundial (International Energy Agency, 2023). Además, entre las ventajas de esta tecnología, está la posibilidad de que los usuarios tengan acceso en tiempo real a su consumo, lo que facilita, entre otras cosas, la mejora de la eficiencia energética en las viviendas/industrias. Igualmente, es preciso indicar que sin la penetración de tecnologías de Smart metering, se dificulta la realización de transacciones entre distintos agentes de la cadena de valor, como consumidores y comercializadores, o transacciones entre pares (P2P).

Unido a ello, la captación de un volumen de datos tan significativa requiere de la implicación de otras tecnologías para poder procesar y almacenar los mismos de forma íntegra y segura. Así pues, tecnologías como el **Big data** permiten el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos, complejos y no estructurados, mediante el uso de herramientas avanzadas. En la fase del consumo energético, el Big data se constituye como una herramienta fundamental para el tratamiento y análisis de los grandes volúmenes de información generados por los consumidores y captados por las tecnologías de Smart metering.

En la misma línea, el **Cloud computing** garantiza que los datos recogidos puedan ser transmitidos desde los medidores inteligentes o **sensores** desplegados, con agilidad a las plataformas de procesamiento, de tal manera que puedan almacenarse y procesarse en la nube, y su acceso puede realizarse online. Por tanto, esta tecnología facilita enormemente la comunicación y el intercambio de información en tiempo real. Permiten igualmente la gobernanza y administración del dato por parte de las utilities, además de su capacidad de optimizar el uso de servidores, habilitar el uso de otras tecnologías como el machine learning, reducir costes, y permitir la administración de autenticaciones y accesos a la información, lo que deriva en una mayor seguridad en el gobierno de los datos.

Junto con el Cloud computing, el uso del **Blockchain** en aplicaciones del sector energético está cada vez más extendido debido al gran volumen de datos que se recopilan por parte de todos los elementos digitales vinculados a la infraestructura energética. Entre otros, el blockchain posibilita la venta de energía P2P, lo cual favorece la existencia de nuevos modelos de negocio centrados en el usuario, como las comunidades energéticas.

En este contexto, otras tecnologías más incipientes como la **Inteligencia Artificial** pueden, de forma potencial, procesar estos datos, y mediante algoritmos generar una toma de decisiones para emplazar a los dispositivos tecnológicos instalados en la infraestructura energética a realizar operaciones que garanticen una optimización de los procesos o una mejora de la eficiencia de la operación, con un impacto positivo en los consumidores. De forma adicional, la Inteligencia Artificial permite avances en otras áreas como las Smart homes, al habilitar el control de sistemas de iluminación, climatización y otros dispositivos inteligentes, que permite la reducción y optimización del consumo energético y una gestión activa del mismo.

En referencia a las comunicaciones, éstas cada vez son más inteligentes y ágiles para favorecer el acceso a la información en tiempo real por parte de los usuarios del sistema energético. Así pues, tecnologías disruptivas como el **5G** o la **fibra óptica**, suponen enormes avances en la velocidad de conexión y en la posibilidad de interconexión de múltiples dispositivos que están conectados a la infraestructura energética. La primera de ellas, la conexión 5G, gracias a su carácter inalámbrico, reporta importantes beneficios a usuarios que se localizan en territorios más remotos, dotándoles de un incremento notable en las velocidades de carga y descarga, conexiones más estables, y una capacidad de transferencia de datos más amplia.

En su conjunto, el despliegue de estas tecnologías de digitalización permite que emerjan nuevos modelos de negocio y gestión de los sistemas energéticos urbanos como pueden ser, entre otros, las ciudades inteligentes o la movilidad eléctrica. Por su parte, las ciudades inteligentes, también conocidas como **Smart cities**, son aquellas que representan un espacio en el cual las infraestructuras y servicios tradicionales alcanzan niveles superiores de eficiencia mediante la implementación de soluciones digitales, en beneficio directo de sus residentes y empresas. No se limita únicamente a la incorporación de tecnologías digitales, sino que abarca un enfoque integral para optimizar recursos y reducir emisiones (European Commission, 2022a).

Asimismo, dentro del proceso de electrificación de usos energéticos, el desarrollo de la **movilidad eléctrica** está experimentando un impulso significativo. Esta tendencia tiene un impacto positivo en términos ambientales, al ofrecer una alternativa netamente más sostenible a los vehículos de combustión interna y, además, está apoyada en la actualidad por programas de ayudas públicas, con el fin de establecer incentivos fuertes para su despliegue, aún muy heterogéneo en las diferentes regiones del mundo. Además de los vehículos en sí, la infraestructura de recarga y las aplicaciones de gestión de la energía permiten que los usuarios saquen el máximo provecho de sus vehículos eléctricos, aumentando así la comodidad y la practicidad de esta forma de transporte limpia y eficiente.

Adicionalmente, es preciso indicar que todos estos despliegues tecnológicos deben desarrollarse a la par que medidas en el ámbito de la **ciberseguridad**, de tal manera que se garantice la integridad de los datos de los consumidores, así como sus derechos. Esto implica la toma de medidas preventivas que eviten hackeos del sistema, e igualmente, el establecimiento de estándares en cuanto al tratamiento de datos de consumo etc.



Flexibilidad del sistema para incorporar renovables ▶

Los ambiciosos objetivos climáticos globales están empujando al sector energético hacia la transformación de su mix energético, para hacerlo más sostenible y descentralizado. Esto pasa por la incorporación de una mayor capacidad de generación renovable. Si bien, el hecho de incorporar tecnologías de generación renovable al sistema energético hace emerger importantes retos y desafíos para el sector, como una operativa más compleja de los sistemas energéticos.

Por ello, en este escenario, es clave la obtención de datos que garantice la toma de decisiones en la operativa del sistema de forma óptima. Una infraestructura energética más resiliente y moderna requiere de la medida y captura de información para favorecer el monitoreo, la toma de decisiones y la automatización. En este sentido, la integración de **tecnologías de sensorización** en el sector y su conexión a través de redes inalámbricas o cableadas de alta velocidad y disponibilidad son esenciales para la obtención de datos de los activos y las redes en tiempo real.

Dichas tecnologías de sensorización en el ámbito de la generación de energía se presentan como un recurso valioso para la recopilación de datos sobre el rendimiento de los activos de generación. Esto es especialmente relevante en las tecnologías de generación renovables, donde su carácter intermitente convierte en más compleja su operación, y habilitan de igual forma la obtención de datos en sistemas de almacenamiento. De igual forma, la sensorización tiene importancia en la mejora de la eficiencia de las redes energéticas, especialmente en la detección de pérdidas técnicas y como ayuda para la localización de fraudes energéticos.

Si bien, es preciso indicar que tras la instalación se requiere un proceso de integración, en muchos casos complejo, en la medida en que conviven infraestructuras con diferente antigüedad y sistemas de gobierno, por lo que se requieren procesos de verificación, testeo, calibración y back-up, entre otros, de forma previa a su plena explotación.



Una vez captados los datos, entran en juego tecnologías como el **Cloud computing** y **Edge Computing**. El Cloud computing facilita la comunicación y el intercambio de información en tiempo real, lo que conduce a una toma de decisiones más rápida y eficaz durante la operación de las redes energéticas. Si bien, al igual que otras tecnologías, el uso del Cloud computing deriva en la necesidad de desarrollar sistemas de ciberseguridad que garanticen un acceso restringido a los datos, garantizando un correcto gobierno del dato, de tal manera que se disminuya el riesgo de ciberataques que puedan poner en entredicho el acceso a información sensible.

De la misma manera, otras tecnologías de procesamiento de datos de forma local como el Edge Computing, que favorecen la agilidad de la operación de las redes, requieren hoy en día de mayor protección en relación con la **ciberseguridad**.

De igual forma, estos datos captados a través de la sensorización suponen la fuente para su uso por parte de otras tecnologías como el **Big data**, encargado del almacenamiento de gran volumen de datos generados durante la operación del sistema energético de generación o **Inteligencia Artificial** y el **Gemelo Digital**.

En relación con la **Inteligencia Artificial**, cabe destacarse su carácter novedoso y las potenciales oportunidades que otorga al sector energético a futuro. Así, a futuro se prevé su uso en la operación automática de plantas de generación descentralizadas, de tal manera que a través de esta tecnología se puede regular la propia generación en base a los parámetros recogidos por los sensores habilitados en la infraestructura energética y realizar una ajustada previsión de la demanda. Igualmente, gracias a la unión de la Inteligencia Artificial con el desarrollo de gemelos digitales, se puede realizar simulaciones de condiciones de operación y mantenimiento de estas plantas. Actualmente, la Inteligencia Artificial es una de las tecnologías con mayor proyección a futuro. Se estima que el mercado vinculado a la Inteligencia Artificial crezca a una tasa anual de aproximadamente 39,4% entre el periodo 2022-2028 (Bloomberg, 2022).

En cuanto a los **gemelos digitales**, su uso es muy positivo en las primeras etapas de planificación y desarrollo del sistema energético, puesto que su capacidad de replicar virtualmente y en tiempo real los parámetros de generación y operación de las redes, permite simular, predecir y optimizar las infraestructuras energéticas en su conjunto. Si bien, el uso de gemelos digitales lleva implícito el despliegue de otras tecnologías como sensores y herramientas de conectividad como el Internet of Things o tecnologías como la Inteligencia Artificial, con el objetivo de que todos los datos se encuentren sincronizados entre el modelo virtual y real.

Un uso adicional de los gemelos digitales, a la simulación para planificación y desarrollo del sistema, es su uso como herramienta de predicción de estado de los activos, para garantizar un mantenimiento predictivo correcto que eviten fallos e interrupciones del suministro energético, y, por tanto, la necesidad de asumir costes más altos en labores de mantenimiento correctivo.



En línea con la automatización que supone la virtualización del sistema, surge otra de las tecnologías más generales que afectan a la cadena de valor: el **Internet of Things**. Esta tecnología abarca en sí diversas tecnologías de sensorización, actuación y comunicación, que hacen uso de una red común para estar interconectadas entre sí. La utilización por tanto del IoT, permite establecer una red de objetos físicos que incorporan tecnología para comunicarse e interactuar con su entorno de forma digital. En este sentido, el uso del IoT a lo largo de la cadena de valor permite realizar un control digital de medidas de tensión y potencia en plantas de generación y redes, así como habilitar el despliegue de generación descentralizada, almacenamiento energético y sensores de control de parámetros de red.

En relación con los nuevos mercados energéticos derivados de la creciente penetración de generación renovable descentralizada en los sistemas energéticos, se hace indispensable el uso de tecnologías disruptivas como el **Blockchain**, que se posiciona como una herramienta garantizar la integridad de las transacciones entre agentes, sirviendo como herramientas hardware de almacenamiento inmodificable que garantiza esta integridad. Su integración en los activos energéticos trae consigo una serie de beneficios relativos, no solo a la disponibilidad de información, sino también a la automatización de procesos. Esto es especialmente crítico en ámbitos contractuales de mercado de esta nueva generación renovable, como los contratos de compraventa de energía a largo plazo a través de las figuras de los Power Purchase Agreements (PPAs) para garantizar, en muchos de estos casos, que la energía suministrada tiene origen renovable. Adicionalmente, gracias al Blockchain se pueden habilitar transacciones peer to peer (P2P), sin la necesidad de la presencia de un intermediario central.

En cuanto al gran volumen de datos que se maneja en el entorno de los sistemas de generación renovable, la disrupción del Big data tiene una gran relevancia para el sector energético puesto que permite, por ejemplo, analizar el comportamiento de la oferta y la demanda y optimizar los procesos relativos al funcionamiento del sector.

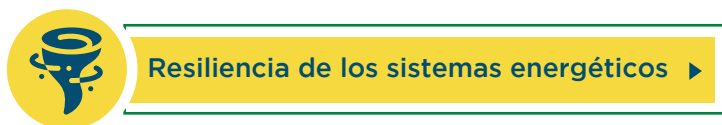
Asimismo, en conjunción con el **Big data**, se está empleando el **Machine Learning** en el ámbito de la producción energética renovable para predecir cuándo estarán disponibles las fuentes de generación y cuándo deberán ser almacenadas para su uso posterior.

En particular, en el ámbito de la digitalización de las redes eléctricas, el Big data ha adquirido un protagonismo muy elevado en los últimos años como tecnología habilitadora para la captación masiva de datos en el contexto de las Smart grids o redes eléctricas inteligentes.

Ejemplos como el uso de **drones** en la supervisión de las redes energéticas para evitar interrupciones de suministro y para generar nueva información que permita el desarrollo de sistemas cartográficos, o la **robotización**, a través del uso de perros-robot para el acceso a activos localizados en áreas de difícil acceso, está cada vez más extendido y ha tenido resultados exitosos.

Con respecto a la **realidad aumentada**, el uso más frecuente en el sector energético se está dando en los últimos años en el ámbito de las redes energéticas. Especialmente de interés es su uso en la detección de fallos de las redes energéticas, a través, por ejemplo, del uso de gafas de realidad virtual, en las que el operario puede contar con información sobre los parámetros de red, con el objetivo de garantizar su seguridad y poder realizar las operaciones con la mayor agilidad posible.

En el ámbito de las comunicaciones, las conexiones **5G** habilita la transmisión de información entre múltiples dispositivos de forma rápida y ágil entre recursos de generación completamente descentralizados, así como entre autoconsumos y centros de control con el objeto de tener una operación de las redes energéticas óptimas.



En un sistema energético cada vez más descentralizado, digital e inteligente, surgen nuevos desafíos relacionados con la integridad y resiliencia del sistema. Garantizar la seguridad de suministro a los consumidores es hoy en día un aspecto esencial de cualquier sistema energético.

Así pues, en el ámbito de la protección de la infraestructura energética, ante potenciales catástrofes y fenómenos naturales, tecnologías como la **sensorización**, acompañada del **Big data** es esencial para analizar patrones de operación que garanticen el correcto funcionamiento de los activos energéticos. La tecnología del **Cloud computing** posibilita el almacenamiento de los datos recogidos en las redes energéticas en un servidor remoto y la interacción con los mismos (TelefónicaTech, 2022).

Desde el acceso al dato por medio de sensores, hasta su almacenamiento y posterior análisis, hay un paso esencial que es su transmisión, mediante el uso de tecnologías de comunicación fiables y rápidas como el 5G, garantizan actuaciones rápidas en la operativa de red que permitan salvaguardar los activos y garantizar, si existe un mallado apropiado de las redes energéticas, el consumo energético a los usuarios.

De igual forma, tecnologías como el **Edge Computing**, que acercan el poder de procesamiento lo más cerca posible de donde los datos están siendo generados (TelefónicaTech, 2022), habilitan la posibilidad de tomar decisiones de forma local, y por tanto ganar velocidad en la toma de decisiones. El despliegue de redes de 5G a nivel global va a modificar sustancialmente la hiperconectividad de los dispositivos, fomentando el Edge computing y el **Internet of Things (IoT)** (Deloitte Chile, 2021).

Por otro lado, en este ámbito también hay que destacar el papel de la previsión ante estos fenómenos. Así pues, el uso del **Internet of Things**, junto al desarrollo de **gemelos digitales**, garantiza una correcta preparación y planificación de los sistemas en base a la simulación de escenarios críticos.

La **Inteligencia Artificial** habilita la implantación de decisiones óptimas que puedan proteger y dotar de resiliencia al sistema energético mediante el desarrollo de algoritmos de predicción, mientras que los gemelos digitales, pueden dotar de mayor capacidad de decisión en las etapas de planificación y desarrollo de la infraestructura energética, permitiendo la simulación de escenarios sobre las infraestructuras y planes de acción. Asimismo, los **drones y la robotización**, en conjunto con las tecnologías previamente mencionada, facilitan la operación y mantenimiento de los activos físicos del sistema energético.



El uso de estas tecnologías permite, por tanto, (i) la identificación prematura de posibles efectos meteorológicos adversos, (ii) la prevención y simulación del efecto de estos fenómenos sobre las infraestructuras, y (iii) una recuperación más rápida tras los efectos que se puedan producir, facilitando la recuperación mediante la identificación de las áreas dañadas, la planificación de rutas de acceso a las mismas y la coordinación de equipos y brigadas de mantenimiento para su reparación de forma eficiente, entre otros.

Igualmente, la resiliencia del sector no únicamente depende de la integridad de la infraestructura física. También es necesario proteger a un sistema energético cada vez más digitalizado de los potenciales riesgos cibernéticos. En este sentido, desarrollos de **ciberseguridad** son clave.

La ciberseguridad, también conocida como seguridad informática, abarca todos los elementos y prácticas que se implementan para reducir el riesgo de accesos no autorizados a la información y operaciones de sistemas digitales. Esto implica la adopción de medidas tanto a nivel de software, como el uso de antivirus y la encriptación de comunicaciones e información, como a nivel de hardware, implementando barreras que dificulten el acceso físico a los dispositivos instalados. La ciberseguridad es, por tanto, fundamental para proteger la integridad y confidencialidad de los sistemas.



Impacto en la cadena de valor ▶

El sector de bienes de equipos eléctricos, perteneciente a la cadena de valor industrial del sector energético, se caracteriza por ser un sector históricamente ligado a productos basados en hierro y cobre (transformadores, celdas, interruptores, cableado, etc.), que en la actualidad está inmerso en un profundo proceso de transformación para desarrollar nuevos productos y servicios digitales.

En este sentido, la especialización de personal en el desarrollo de áreas como la **robotización**, automatización y el desarrollo de **drones** supone apuestas de futuro, puesto que son áreas menos exploradas por las empresas energéticas hoy en día. Igualmente, emergen oportunidades en torno al desarrollo de modelos de **Inteligencia Artificial**, o desarrollos vinculados al **Blockchain** o **IoT**. También el ámbito de la **ciberseguridad** es clave, y las oportunidades que genera son a largo plazo, puesto que es un área que siempre debe desarrollarse de forma paralela a la irrupción de nuevas tecnologías.

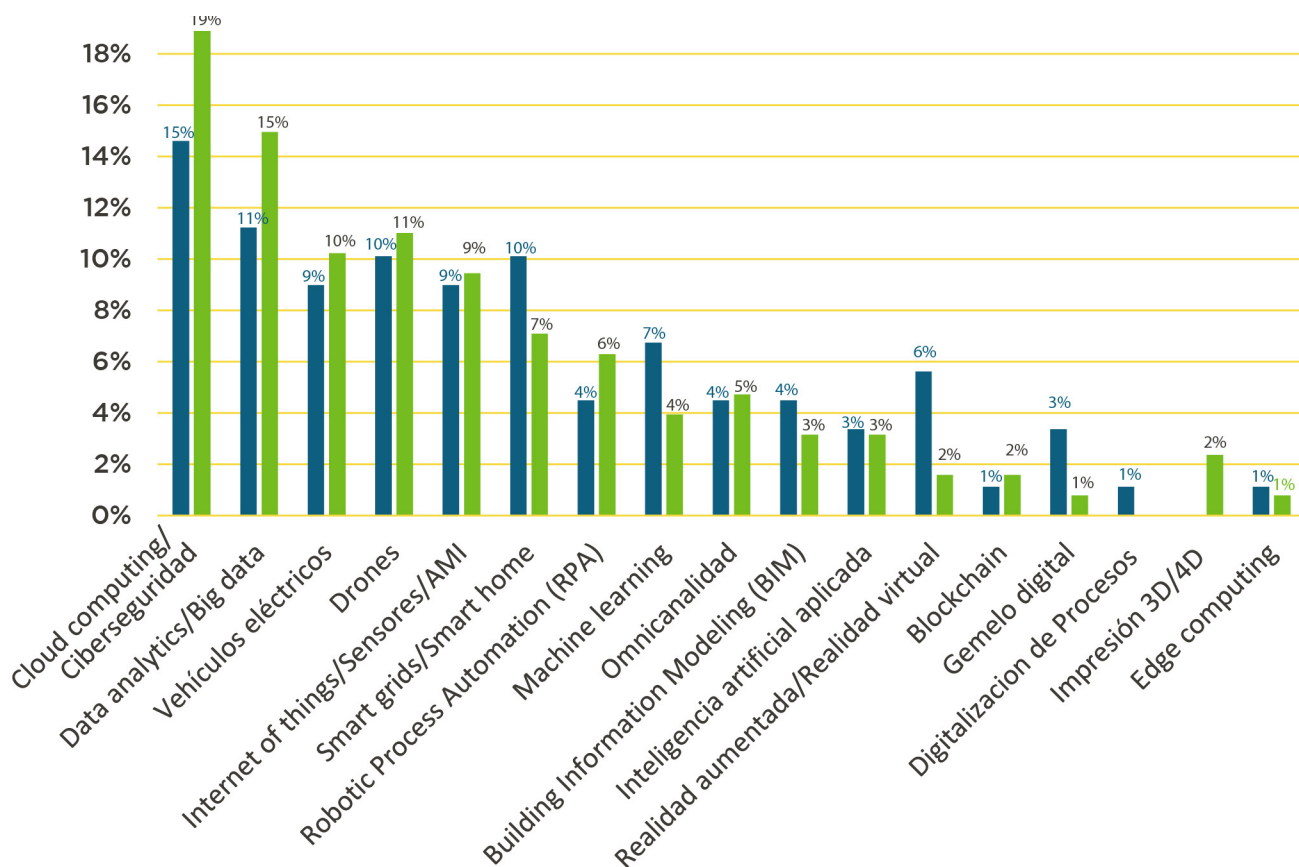
De igual forma, el sector puede aprovechar esta oportunidad para incorporar estas tecnologías con el fin de modernizar también sus procesos de producción, que contribuyan a disminuir costes y optimizar las cadenas de fabricación.

Principales tecnologías y áreas de transformación digital. La visión de los agentes

La progresiva incorporación de tecnologías en el sector busca acompañar la transformación del modelo de sistema energético, dotando de mayor capacidad de información y decisión a los consumidores, de tal manera que puedan participar activamente en los mercados energéticos. Además, un progresivo despliegue tecnológico, ayudará a la incorporación masiva de renovables que contribuyan a descarbonizar el sistema energético y los sistemas productivos e industriales afines.

En este sentido, la encuesta realizada se ha enfocado en las tecnologías digitales más avanzadas que están incorporándose a los sistemas energéticos de los principales países con el propósito de verificar el grado de transformación digital actual de las empresas del sector energético en la región:

► Tecnologías a las que se está destinando la inversión en transformación digital



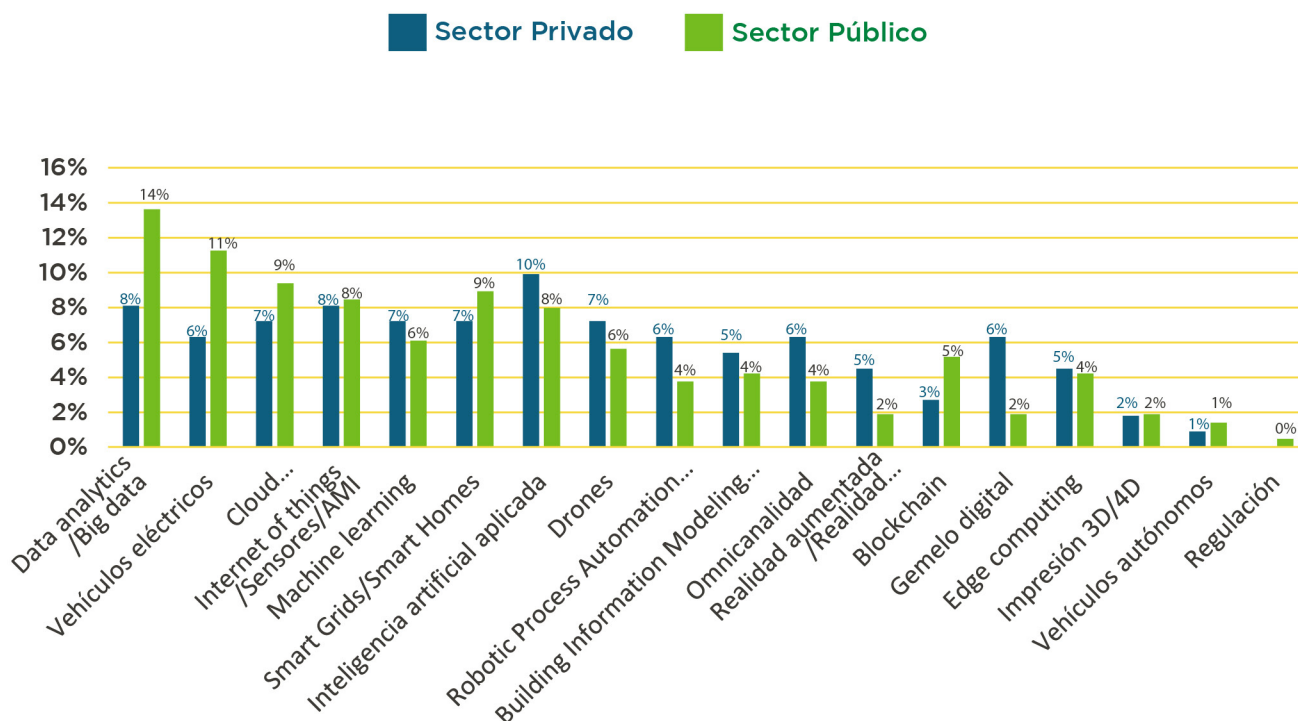
En general, los resultados evidencian que el sector está ahora mismo inmerso en la incorporación de tecnologías basadas en la captación y procesamiento de datos. Por ello, en la actualidad, tecnologías como el Cloud computing, el Data Analytics, el Big Data prevalecen sobre otras.

Igualmente, los agentes evidencian la importancia de un ámbito clave dentro del área de Digitalización del Usuario, como es el desarrollo e impulso al vehículo eléctrico.

De los resultados, es reseñable la escasa penetración tecnológica en la región del Gemelo Digital o la Realidad Aumentada y virtual. Como se mencionaba en capítulos anteriores, el gemelo digital es una tecnología con un impacto muy positivo en las áreas clave del desarrollo de la transformación digital, desde la flexibilidad del sistema energético para incorporación de más renovables, al aumento de la resiliencia del sistema energético. Esta escasa penetración del Gemelo Digital o la Realidad Aumentada, entre otros, se debe a un grado de madurez digital aún bajo en la región, al igual que puede ocurrir con casos de usos ligados a la Inteligencia Artificial o la sensorización de las infraestructuras, que aún no se han contemplado en mucho de los países analizados.

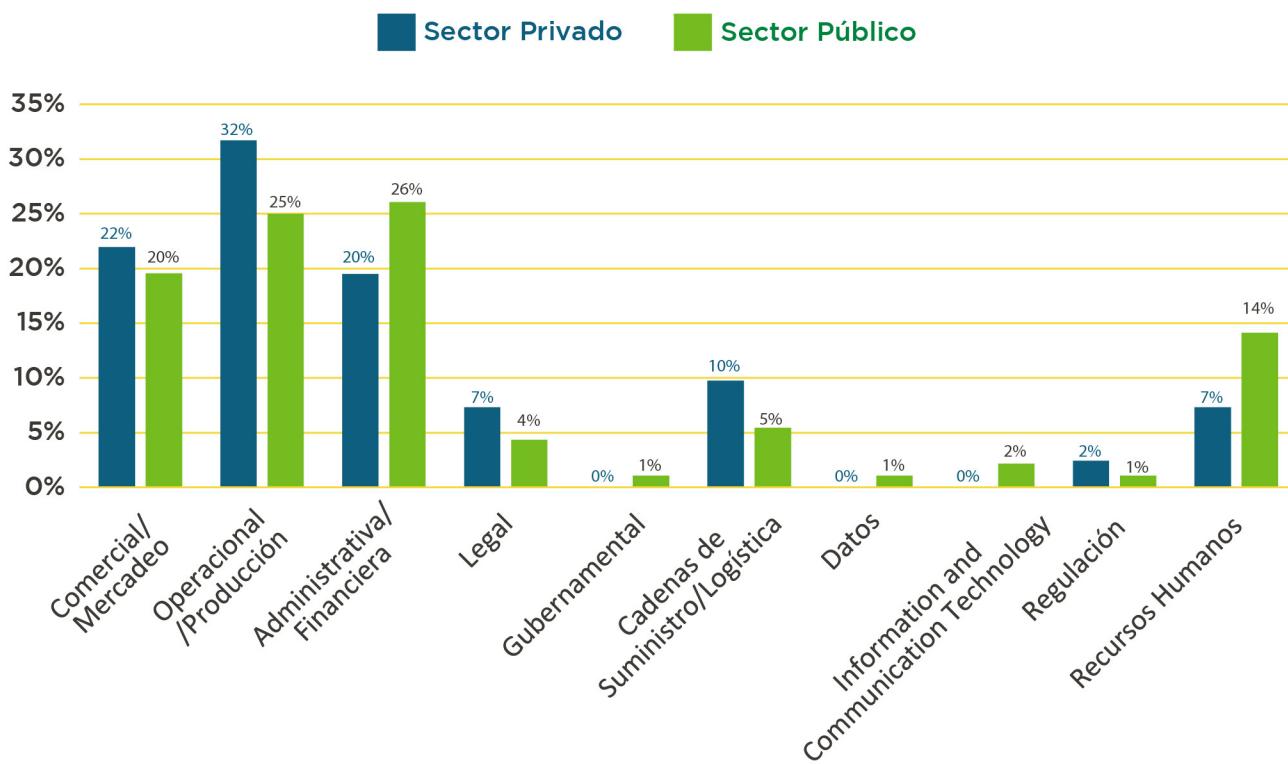
A modo de resumen, los agentes han identificado las siguientes tecnologías como relevantes para los próximos años:

► **Tecnologías emergentes digitales previstas de implantarse a futuro (3 años) en el sector energético**



Entre los resultados, destaca la importancia a las Smart grids & Smart Homes. Son dos áreas clave en avanzar a hacia la digitalización centrada en el usuario, así como para la incorporación de recursos de generación renovable descentralizados que contribuyen a conseguir un sistema más flexible. Adicionalmente, otras tecnologías como Blockchain o Inteligencia Artificial, adquieren interés por parte de los agentes para el futuro.

► **Áreas de dedicación de recursos dentro del proceso de transformación digital de las entidades consultadas**

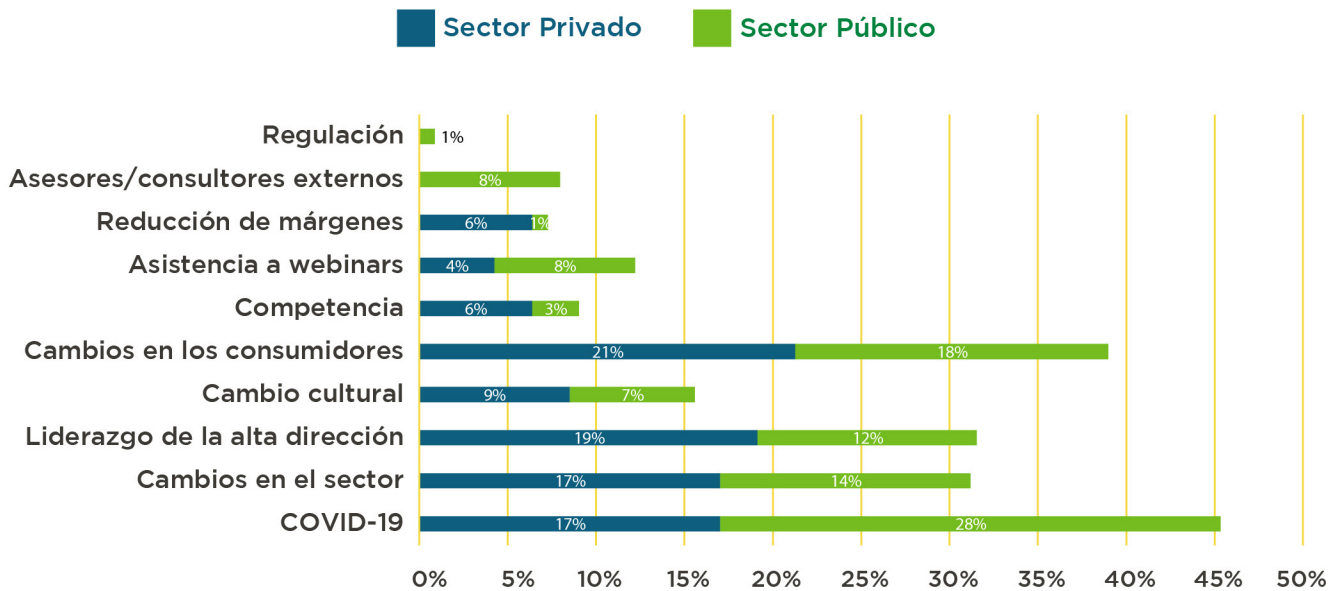


Como se puede observar, los resultados arrojan que las áreas de mayor dedicación al proceso transformacional son las áreas operativas de la actividad, es decir, áreas comerciales, de operación/producción y administrativas/financieras. Estos altos porcentajes indican que aquellas áreas con mayor impacto en la productividad empresarial y en los consumidores son las que prevalecen en el comienzo del proceso de transformación. Por el contrario, áreas más tradicionales y con mayor dificultad en la incorporación de tecnologías como el ámbito legal y gubernamental, aúnan bajos resultados.

Impacto de la transformación digital y barreras identificadas

Se ha consultado a los agentes qué aspectos consideran que más positivamente han contribuido al avance de su organización en la transformación digital. Identificar estos aspectos permitirá que otros agentes de la región centren su foco de atención y sus esfuerzos en el proceso. Los resultados obtenidos sobre esta consulta han sido los siguientes:

► Aspectos considerados más positivos para el avance de las organizaciones en transformación digital

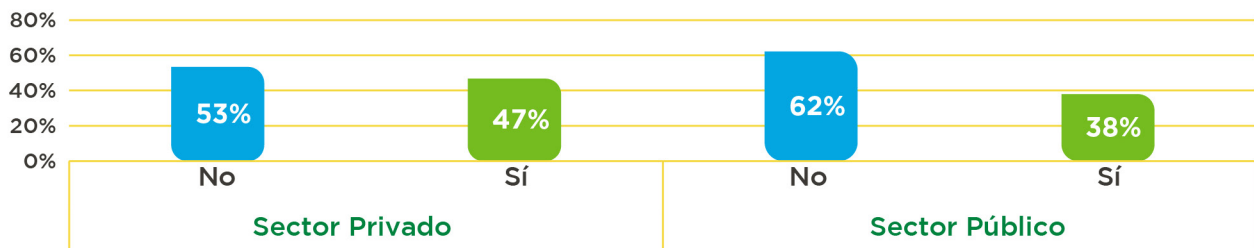


Es muy destacable que, con carácter general, se considera la pandemia de COVID-19 como un hito acelerador de la transformación digital. Esto, acorde a las entrevistas mantenidas con agentes de fuera de la región, puso de manifiesto la criticidad del sector energético para el resto de las actividades económicas.

Otros factores destacados son los cambios necesarios en el sector y en el ámbito empresarial. Esto refuerza la necesidad de acometer una transformación cultural del modelo empresarial que acompañe el proceso de transformación digital.

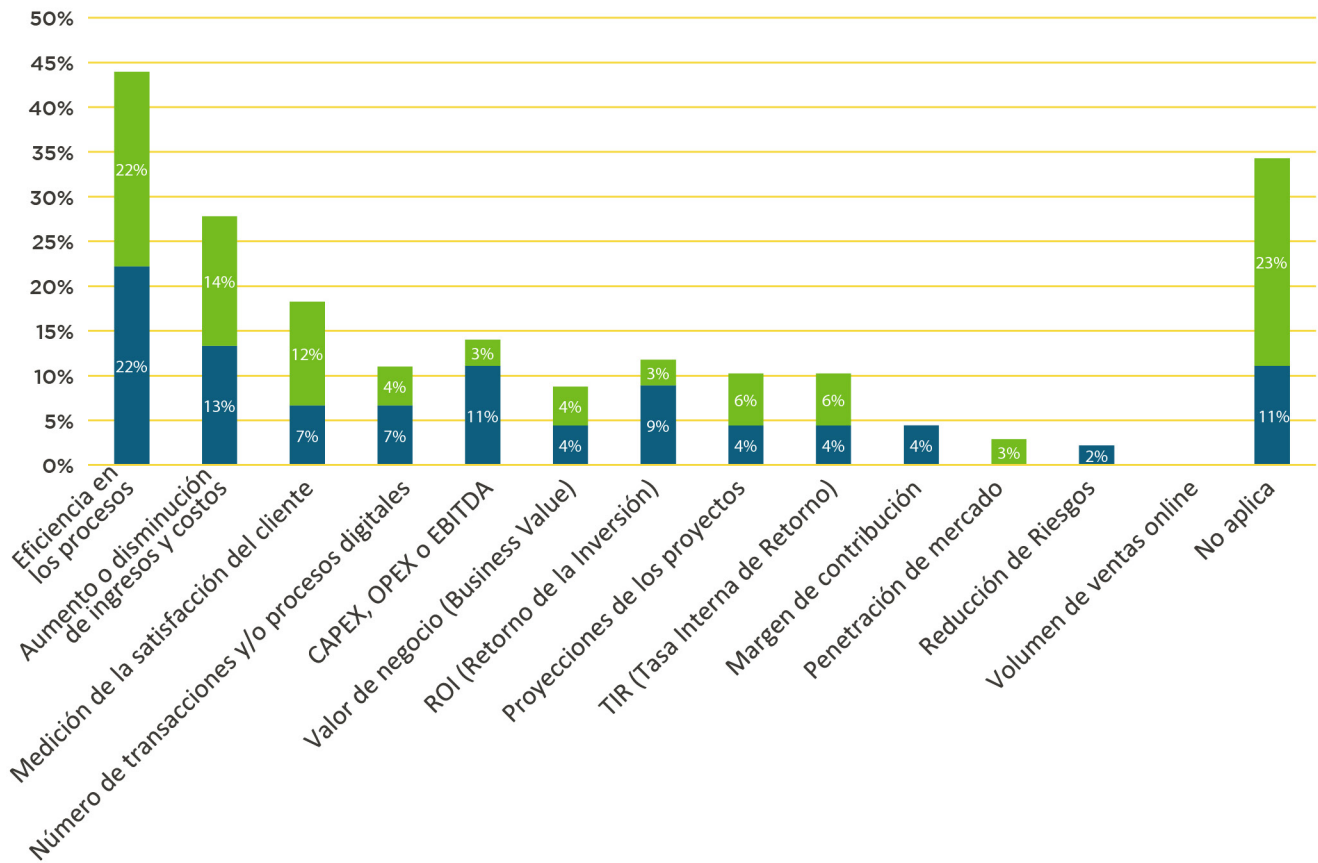
A este respecto, únicamente un 42% de los agentes confirma que ha realizado una cuantificación del impacto de las inversiones que su organización ha hecho en la transformación digital, aspecto identificado como muy relevante de acuerdo con las entrevistas mantenidas con los agentes que operan en los países de referencia analizados:

► Cuantificación del proceso de transformación digital en las organizaciones encuestadas



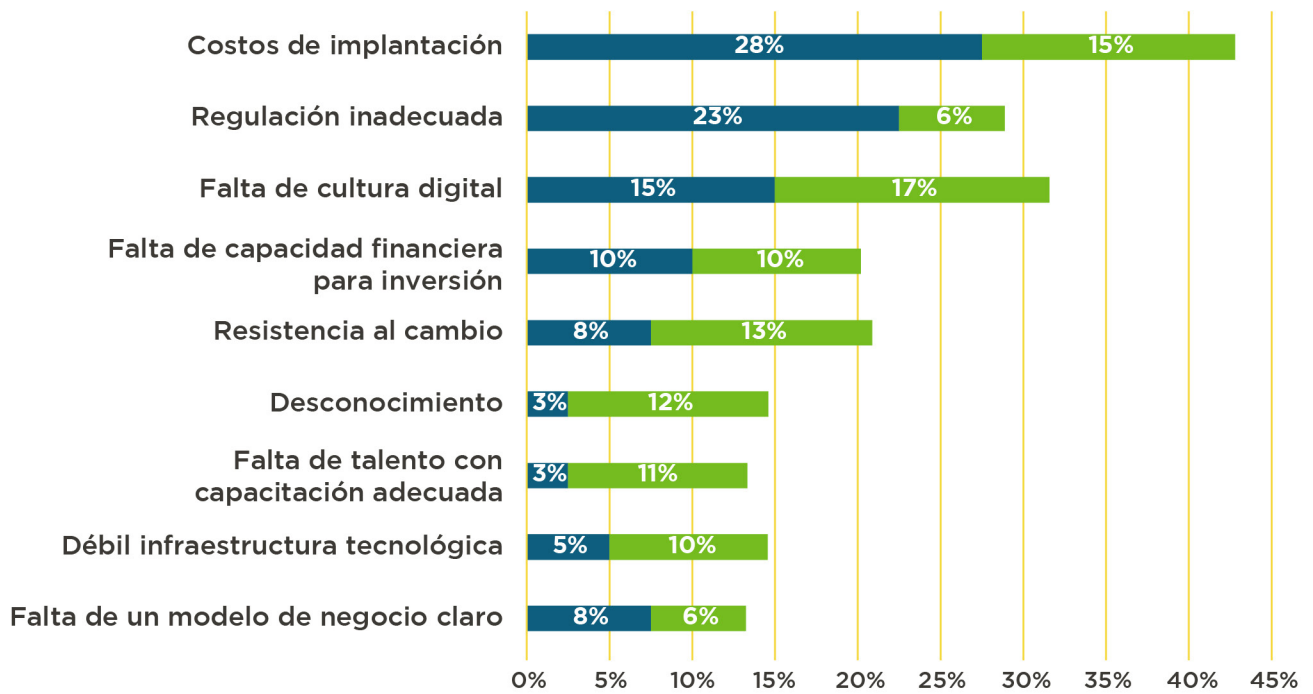
Entre los indicadores existentes para medir el impacto de estas inversiones, destacan principalmente, la eficiencia en los procesos (25%) y el aumento o disminución de los ingresos y costos (18%). En cambio, destaca el bajo nivel de respuesta en relación con la Reducción de Riesgos (1%):

► **Indicadores utilizados para la medición del grado de avance del proceso de transformación digital en las organizaciones consultadas**



Con respecto a las barreras a la transformación digital, junto a los costos de implementación (17%) y la falta de cultura digital (16%), los encuestados resaltan: (i) la falta de capacidad financiera para acometer las inversiones necesarias, (ii) la resistencia al cambio y (iii) el desconocimiento del proceso de transformación digital.

► **Barreras identificadas por las entidades encuestadas para llevar a cabo el proceso de transformación digital**






Un aspecto interesante es el desconocimiento no solo sobre cómo acometer la transformación digital y los impactos positivos que puede generar en el sector energético, sino también la cuantificación de los beneficios que se estarían obteniendo a partir de los despliegues ya realizados en las organizaciones.

Anexo B. Contactos mantenidos con agentes públicos y privados del sector

La transformación digital del sector energético requiere de la colaboración conjunta de todos los actores, **públicos y privados, para garantizar el éxito del proceso**. Por ello, todos ellos deben ir alineados y **colaborar conjuntamente para asumir los retos y desafíos que se presentan durante este proceso transformacional**.

Es por ello que, como parte de este trabajo, se ha procedido a realizar diferentes contactos, encuentros y entrevistas con diferentes agentes públicos y privados, que desarrollan su actividad fuera de la región, al objeto de conocer los principales retos y oportunidades, en torno a la transformación digital, que están viviendo sus organizaciones, e identificar aquellos aspectos que consideran críticos abordar para llevar con éxito este proceso. Estos agentes pertenecen a los países seleccionados para el estudio bibliográfico de mejores prácticas, y se han dividido, según su ámbito de actividad, en las siguientes categorías:

	 Agentes privados	 Agentes públicos	 Academia/Centros de investigación	 Fabricantes
 Estados Unidos	✓	✓	✓	✓
 España	✓	✓	—	✓
 Reino Unido	✓	✓	✓	—
 Portugal	✓	✓	—	—
 Italia	✓	✓	—	—
 Corea del Sur	✓	✓	—	✓

La información y documentación de estos agentes ha permitido identificar las principales áreas de interés en relación con la progresiva transformación digital del sector. La visión general de los contactos realizados es que la transformación digital del sector no es una opción, abre un nuevo paradigma al sector energético, y debe considerar los siguientes aspectos:

- La transformación digital es la única palanca para poder acometer con éxito un plan tan ambicioso de generación renovable en el mix energético global y sólo se conseguirá con la colaboración público-privada y la colaboración entre agentes privados del sector (fabricantes y utilities, por ejemplo). Se entiende que no es posible alcanzar los objetivos fijados en los planes y compromisos de descarbonización sin una estrategia clara en la transformación digital del sector. Esto implica que todos los agentes presentes en la cadena de valor deban avanzar de forma conjunta y un fuerte impulso de financiación para reducir plazos y hacer viables determinadas inversiones.

- Por ello, el sector privado **demanda a los agentes públicos un marco regulatorio actualizado y estabilidad y certidumbre regulatoria que permita el reconocimiento y recuperación de las inversiones. Los agentes públicos (Reguladores) son conscientes de que tienen un papel determinante para apoyar la transformación digital del sector** y, para ello, están llevando a cabo *sandboxes* regulatorios, de tal manera que los cambios se hagan de forma gradual, sin necesidad de poner en riesgo grandes inversiones o desarrollar regulatoriamente normativas que no tengan recorrido a medio-largo plazo.
- **La base de la transformación digital está asociada a tres ámbitos tecnológicos clave: (i) sensorización para la obtención del dato; (ii) analítica del dato a través de Inteligencia Artificial y algoritmia; y (iii) comunicaciones inteligentes y seguridad (física y digital).**
- En este contexto, **los agentes consultados reconocen también que es necesario realizar también un cambio cultural en la sociedad y en las organizaciones en relación con el proceso de transformación digital, al tratarse de un proceso tan disruptivo.** Para ello, reconocen que es importante la involucración de la alta dirección en este proceso transformador, que fomente un cambio en las organizaciones. **Identifican** igualmente la necesidad de **invertir en la formación de la plantilla en nuevas capacidades digitales.**
- De igual forma, **se identifica la necesidad de promover la formación académica y profesional en áreas digitales, para garantizar la innovación y el desarrollo de nuevos productos digitales que den respuesta a las necesidades.**
- Igualmente, **destacan la necesidad de reforzar y/o mantener la competitividad industrial en los nuevos productos que requiere el sector**, muy especialmente con el riesgo que supone para muchas empresas del sector su adaptación y transición en el proceso de fabricación de productos basados en hierro y cobre, a productos digitales de hardware y software.
- **El despliegue tecnológico tiene que venir acompañado de desarrollos resilientes en materia de ciberseguridad**, principalmente basados en estándares internacionales reconocidos, **que garanticen la integridad del sistema energético, y de los datos recogidos y tratados vinculados a los consumidores.**

Anexo C. Formulario de encuesta realizada a los agentes de ALC

Antecedentes

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) está realizando un estudio sobre el estado de la transformación digital del sector energético en América Latina y el Caribe, desde el punto de vista de los cuatro pilares actualmente básicos de desarrollo del sector: (i) digitalización centrada en el usuario; (ii) flexibilidad del sistema para la integración de renovables; (iii) resiliencia del sistema energético y (iv) la cadena de valor.

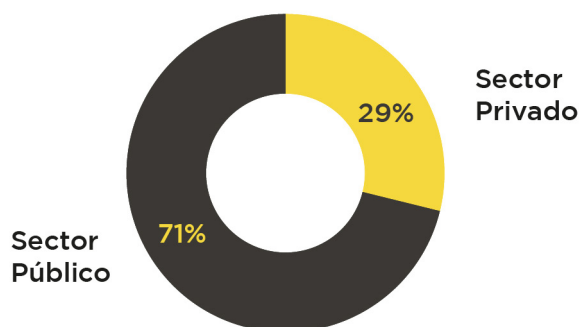
En este contexto, por parte del BID, se ha considerado clave contar con la visión y perspectiva a futuro de los principales agentes involucrados a lo largo de la cadena de valor, con el objetivo de conocer de primera mano, tanto por parte del sector público como el privado, los potenciales avances dados en materia de transformación digital en distintos países de la región.

En este sentido, la visión de los principales agentes será de interés para identificar el estado actual del proceso de modernización del sector energético en la región, identificando barreras, oportunidades y potenciales vías de acción que impulsen la transformación digital a través de la colaboración y cooperación público-privada.

Perfil de los agentes encuestados

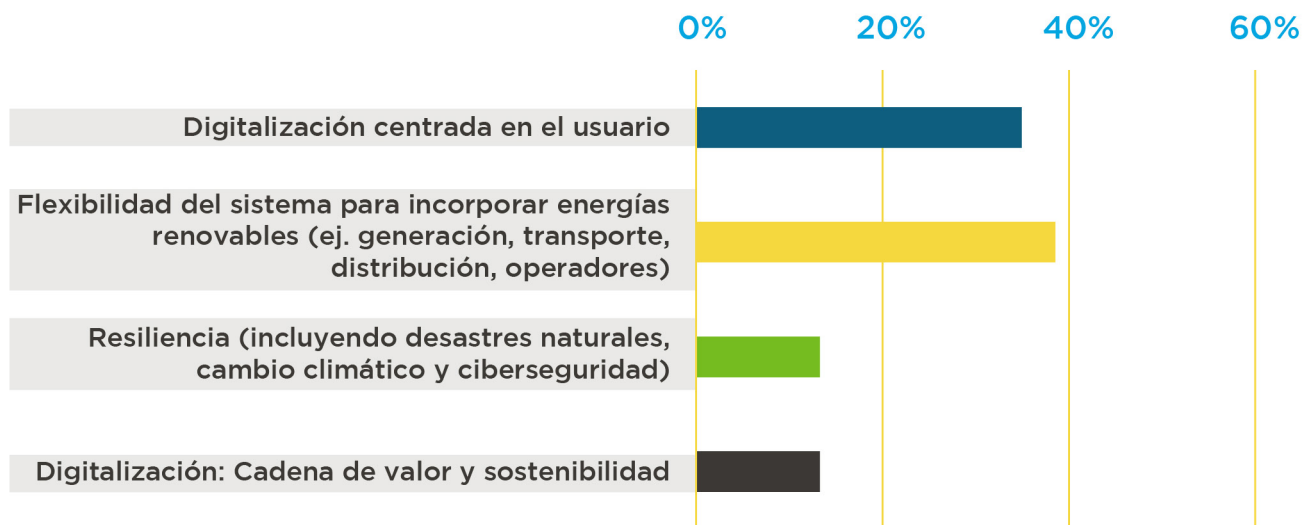
Como se citaba anteriormente, la elaboración de la hoja de ruta de transformación digital para la región ha incluido la consulta sobre la visión sobre la transformación digital en el ámbito de la energía, por parte de los agentes públicos y privados que desempeñan su actividad dentro de la cadena de valor del sector energético en la región. Para ello, se ha realizado un análisis basado en los resultados de una encuesta realizada a 52 representantes públicos (agentes e instituciones) y privados de la región. Las citadas encuestas, se han llevado a cabo entre los meses de julio y agosto de 2023. Igualmente, el cuestionario utilizado para las encuestas puede encontrarse a continuación en el presente anexo. En la siguiente figura, puede verse el desglose de participantes en la encuesta por ámbito de desarrollo de su actividad dentro del sector:

► Número de agentes encuestados según ámbito de actividad



Igualmente, la encuesta se ha dirigido a entidades y empresas que se enmarcan en diferentes áreas clave del sector energético, con el fin de dar una visión transversal de las necesidades del sector.

► **Áreas clave de transformación digital en la que desarrollan su actividad los agentes encuestados**



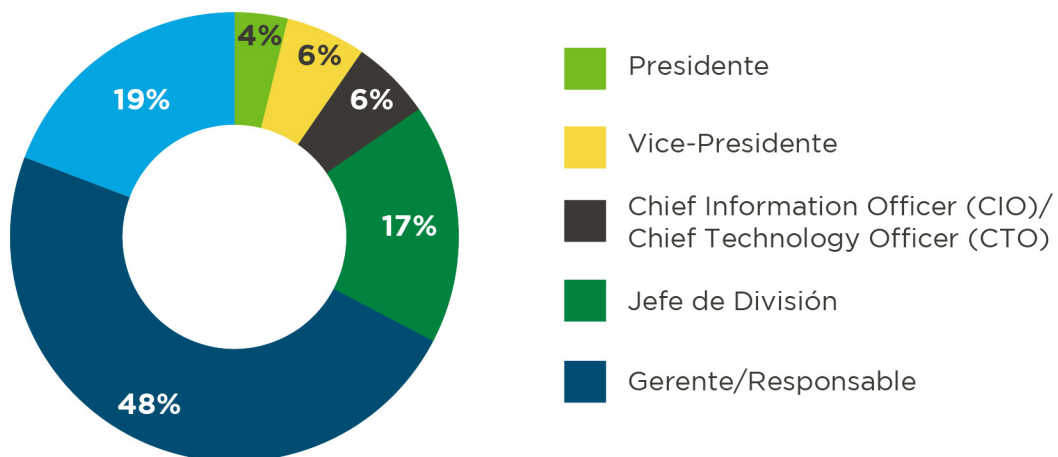
De igual forma, con el objetivo de no tener una visión sesgada de una cierta dimensión de las entidades consultadas, se ha procedido a contactar con agentes pertenecientes a organizaciones con un diferente volumen de empleados. En el siguiente cuadro, se puede ver la categorización de las entidades consultadas en función del número de empleados:

► **Dimensión de las entidades a las que pertenecen los agentes (por número de empleados)**

Empleados	Sector privado	Sector público
1-50	27%	16%
51-500	20%	24%
501-1,000	27%	27%
Más de 1,000	227%	32%

Por otro lado, la encuesta se dirigió a (i) Presidentes de las entidades públicas o privadas; (ii) otros cargos de Dirección de las entidades públicas o privadas; (iii) Chief Information Officer (CIO)/Chief Technology Officer (CTO); (iv) Jefes de División; (v) Gerentes/Responsables; y (vi) Otros agentes de interés. El resultado de las respuestas en función del rango profesional ha sido el siguiente:

► Categoría profesional de los agentes consultados



Formulario de encuesta

Transformación digital en el sector energético en América Latina y Caribe

1. País

Argentina

Bahamas

Barbados

Bolivia

Brasil

Chile

Colombia

Costa Rica

Ecuador

El Salvador

Guatemala

Honduras

Jamaica

México

Panamá

Paraguay

República Dominicana

República del Surinam

Trinidad y Tobago

Uruguay

2. ¿Su organización es de carácter?

Público

Privado

3. ¿En qué subsector de la digitalización del sector energético se desempeña su organización principalmente?

Digitalización centrada en el usuario

Flexibilidad del sistema para incorporar energías renovables (ej. generación, transporte, distribución, operadores)

Resiliencia (incluyendo desastres naturales, cambio climático y ciberseguridad)

Digitalización: Cadena de valor y sostenibilidad

4. ¿Cuántos empleados tiene su organización?

1-50

51-500

501-1.000

Más de 1.000

5. ¿Cuál es su rol en la organización?

Presidente

Vicepresidente

Chief Information Officer (CIO)/Chief Technology Officer (CTO)

Gerente/Responsable

Jefe de División

Otro

6. ¿Hoy en día, cuánto considera usted que su organización ha avanzado en la transformación digital?

Nada

Se está tomando consciencia

Ya se han desarrollado los primeros proyectos piloto

Estamos en proceso de implantación con un plan establecido

Cuenta con una adopción avanzada

7. ¿Tiene su organización una estrategia de transformación digital?

Sí

No

8. ¿En qué áreas su organización ha venido aplicando la transformación digital? Marque todas las que apliquen.

Administrativa/Financiera

Comercial/Mercadeo

Legal

Operacional/Producción

Recursos Humanos

Cadenas de Suministro/Logística

Otros

9. ¿Cómo percibe el avance de su organización en temas de transformación digital con respecto al promedio de su sector en América Latina y el Caribe?

Muy rezagado	Adelantado
Rezagado	Muy adelantado
En el promedio	

10. ¿Cómo percibe el avance de su organización en temas de transformación digital con respecto a países líderes a nivel mundial?

Muy rezagado	Adelantado
Rezagado	Muy adelantado
En el promedio	

11. ¿Cuáles son los objetivos de inversión para la transformación digital en su organización? Marque todas las que considere.

Automatizar procesos	Ganar poder de marca
Reducir costos	Contribuir a los objetivos ambientales
Ganar presencia online	Mejorar la seguridad
Incursionar en otras industrias	Otros
Adquirir fuentes adicionales de ingreso	

12. ¿Cuáles de las siguientes tecnologías viene usando en su organización? Marque todas las que considere.

Omnicanalidad	Realidad aumentada/Realidad virtual
Cloud computing/Ciberseguridad	Blockchain
Data analytics/Big data	Impresión 3D/4D
Machine learning	Vehículos autónomos
Internet of things/Sensores/AMI	Vehículos eléctricos
Inteligencia Artificial aplicada	Edge computing
Robotic Process Automation (RPA)	Smart grids/Smart home
Drones	Gemelo digital
Building Information Modeling (BIM)	Otros

13. Considerando un horizonte de hasta tres (3) años, ¿la transformación digital deberá implementarse principalmente en qué áreas de su organización? Marque todas las que considere.

Procesos internos de la organización	Gestión de talentos y recursos humanos
Innovación en productos y servicios	Colaboración entre empresas/terceros
Relaciones con los clientes	Seguridad y protección
Nuevos modelos de negocio y flujo de ingresos	Todas las anteriores
Nuevos canales de distribución	Otros

14. Considerando un horizonte de hasta tres (3) años, ¿cuáles de las siguientes tecnologías considera que deberán ser implementadas en su organización? Marque todas las que considere.

Omnicanalidad	Realidad aumentada/Realidad virtual
Cloud computing/Ciberseguridad	Blockchain
Data analytics/Big data	Impresión 3D/4D
Machine learning	Vehículos autónomos
Internet of things/Sensores/AMI	Vehículos eléctricos
Inteligencia Artificial aplicada	Edge computing
Robotic Process Automation (RPA)	Smart Grids/Smart Homes
Drones	Gemelo digital
Building Information Modeling (BIM)	Otros

15. ¿Cuáles han sido los aspectos que más han contribuido positivamente al avance de su organización en la transformación digital? Marque todas las que considere.

COVID-19	La competencia
Liderazgo de la alta dirección	Asistencia a webinars
Cambio cultural	Reducción de márgenes
Cambios en los consumidores	Asesores/consultores externos
Cambios en el sector	Otros

16. ¿Ha cuantificado el impacto de las inversiones que su organización ha hecho en la transformación digital?

Sí

No

17. En caso de que sí, ¿cuáles indicadores ha usado para medir el impacto de estas inversiones? Marque todas las que considere.

Aumento o disminución de ingresos y costos

Medición de la satisfacción del cliente
Margen de contribución

Eficiencia en los procesos

Valor de negocio (Business Value)

ROI (Retorno de la Inversión)

TIR (Tasa Interna de Retorno)

Proyecciones de los proyectos

Penetración de mercado

Volumen de ventas online

No aplica

Número de transacciones y/o procesos digitales

Otros

CAPEX, OPEX o EBITDA

18. ¿Qué restricciones/limitaciones ha encontrado para avanzar en la transformación digital de su organización? Marque todas las que considere.

Costos de implantación

Falta de talento con capacitación adecuada

Falta de cultura digital

Regulación inadecuada

Desconocimiento

Resistencia al cambio

Falta de capacidad financiera para inversión

Débil infraestructura tecnológica

Falta de un modelo de negocio claro

Otros

19. Por favor, señale cualquier observación que le parezca necesaria, para el desarrollo tecnológico en su área o sector (opcional).

20. ¿Le gustaría ser contactado más adelante cuando tengamos los resultados del estudio?

Sí (en ese caso, facilite a continuación sus datos de contacto)

Bibliografía

- Acciona Energía. (2022). "ACCIONA Energía y el Centro de Innovación de la Universidad Católica firman una alianza estratégica para acelerar la innovación en proyectos de energía renovable". https://www.acciona.cl/actualidad/noticias/acciona-energia-centro-innovacion-universidad-catolica-firman-alianza-estrategica-acelerar-innovacion-proyectos-energia-renovable/?_adin=02021864894
- ACERA. (2023). *Boletín de Estadísticas*.
- ADELAT. (2022). *La distribución de energía en tiempo de cambios*. <https://adelat.com/wp-content/uploads/2023/05/La-Distribucion-de-Energia-Elctrica-en-tiempos-de-cambios-1.pdf>
- Agência Nacional de Energia Elétrica . (2021). *Dispõe sobre a política de segurança cibernética a ser adotada pelos agentes do setor de energia elétrica*. <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021964.html>
- Agenzia per la Cybersicurezza Nazionale. (2022). *Piono di Implementazione Strategia Nazionale di Cybersicurezza 2022-2026*. <https://www.acn.gov.it/strategia/strategia-nazionale-cybersicurezza>
- American Meteorological Society. (2023). *Surface Solar Extremes in the Most Irradiated Region on Earth, Altiplano*. https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/104/6/BAMS-D-22-0215.1.xml?tab_body=pdf
- Americas Market Intelligence. (2022). *The Road to Net Zero in Latin America*. https://americasmi.com/pdfs_landings/The_Road_to_Net_Zero_EN_08.pdf
- Asociación Mexicana de la Industria Automotriz. (2022). *Ventas de vehículos híbridos y eléctricos*. <https://www.amia.com.mx/ventas-de-vehiculos-hibridos-y-electricos/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *Big data y cambio climático - Conexión Intal*. <https://conexionintal.iadb.org/2018/07/27/ideas3-2/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018a). *Conectando los puntos: Una hoja de ruta para una mejor integración de América Latina y el Caribe*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Conectando-los-puntos-Una-hoja-de-ruta-para-una-mejor-integracion-de-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2019). *Análisis de tecnología, industria, y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y el Caribe*. https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/An%C3%A1lisis_de_tecnolog%C3%ADa_industria_y_mercado_para_veh%C3%ADculos_el%C3%A9ctricos_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_es_es.pdf
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022). *Promoviendo las transiciones energéticas justas e inclusivas*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/promoviendo-las-transiciones-energeticas-justas-e-inclusivas/>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2022a). *Guía de Transformación Digital del Gobierno*. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Guia-de-transformacion-digital-del-gobierno.pdf>
<https://adelat.com/wp-content/uploads/2023/05/La-Medicion-Inteligente-en-America-Latina-y-el-Caribe-Recomendaciones-regulatorias-para-incentivar-el-despliegue-de-la-medicion-inteligente-a-nivel-nacional.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2023a). "Conocimiento de exportación: ¿cuáles son las perspectivas para América Latina y el Caribe?". <https://blogs.iadb.org/integracion-comercio/es/conocimiento-de-exportacion-cuales-son-las-perspectivas-para-america-latina-y-el-caribe/>
<https://www.bloomberg.com/press-releases/2022-06-27/-422-37-billion-global-artificial-intelligence-ai-market-size-likely-to-grow-at-39-4-cagr-during-2022-2028-industry>
- Cabinet Office UK Government. (2022). *Government Cyber Security Strategy 2022-2030. Building a cyber resilient public sector*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1049825/government-cyber-security-strategy.pdf
<https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-did/national-digital-twin-programme>
- CARILEC. (2023). *Guyana's energy market: a rising star in the Caribbean*. <https://www.carilec.org/guianas-energy-market-a-rising-star-in-the-caribbean/>
- Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. (2021). *Cyber-Attack Against Ukrainian Critical Infrastructure*. <https://www.cisa.gov/news-events/ics-alerts/ir-alert-h-16-056-01>
- CIGRE Chile. (2020). *Plan Nacional de Ciberseguridad para el sector eléctrico 2021-2023*. <https://www.cigre.cl/pdf/PDC/PlanDirector-Ciberseguridad-CIGRE-ES.pdf>
- CISCO. (2023). *La digitalización llega a las redes eléctricas*. <https://news-blogs.cisco.com/emea/es/2023/07/03/la-digitalizacion-llega-a-las-redes-electricas/>

Comisión de Transportes y Telecomunicaciones del Senado de Chile. (2023). *Estrategia de transformación digital: Chile Digital 2035*. <https://hdl.handle.net/11362/49067>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2021). *Tecnologías Digitales para un nuevo futuro. Tecnologías Digitales para un Nuevo Futuro*: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/46816/1/S2000961_es.pdf

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2022). *Tendencias en materia de digitalización del sector eléctrico*. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/48104/1/S2200593_es.pdf

Comisión Europea. (2009). *Recomendación de la Comisión, de 9 de octubre de 2009, relativa a la movilización de las tecnologías de la información y la comunicación para facilitar la transición a una economía de alta eficiencia energética y bajo nivel de emisión de carbono*. <https://www.boe.es/boe/2013/051/L00018-00022.pdf>

Comisión Federal de Electricidad. (2023). “CFE, lista para la temporada de huracanes 2023”. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=4861>

Comisión Nacional de Energía (CNE). (2022). *Distributed renewable energy and the digital transformation of energy systems*. <https://www.iea.org/events/distributed-renewable-energy-and-the-digital-transformation-of-energy-systems-challenges-and-opportunities-for-latin-america>

Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2020). *Acuerdo por el que se emite informe sobre el seguimiento del plan de sustitución de contadores*. https://www.cnmc.es/sites/default/files/3002675_0.pdf

Comité Interamericano contra el Terrorismo. (s.f.). *Programa de Ciberseguridad*. <https://www.oas.org/es/sms/cicte/prog-ciberseguridad.asp>

Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres Naturales o Provocados. (2022). *Plan Nacional de Respuesta*. <https://conred.gob.gt/wp-content/uploads/Plan-Nacional-de-Respuesta.pdf>

Datos Macro. (2021). *Bahamas - Generación de electricidad*. <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/electricidad-generacion/bahamas>

Deloitte. (2023). *Tech Trends 2023 - Informe anual de Tendencias Tecnológicas de Deloitte*. <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/technology/articles/tech-trends.html>

Deloitte Chile. (2021). *Las 10 tendencias en ciberseguridad que marcarán el 2021*. <https://www2.deloitte.com/cl/es/pages/risk/articles/diez-tendencias-ciberseguridad-2021.html>

Deloitte Chile, Fortinet. (2020). *Ciberseguridad en el sector eléctrico - Amenazas para sistemas TI y OT*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pe/Documents/risk/cl-ciberseguridad-en-el-sector-electrico-diciembre-2020.pdf>

Digital Twin Hub. (2023). *Climate Resilience Demonstrator (CReDo) - Increasing climate resilience through cross-sector data sharing in a connected digital twin*. <https://digitaltwinhub.co.uk/media/climate-resilience-demonstrator-credo/credo-increasing-climate-resilience-through-cross-sector-data-sharing-in-a-connected-digital-twin-r114/>
<https://www.endesa.com/content/dam/enel-es/home/inversores/registrosoficiales/hechosrelevantes/documentos/2022/estado-de-informacion-no-financiera-y-sostenibilidad-2022.pdf>

Endesa. (2023). *Helicópteros, drones y una batería de dispositivos tecnológicos para proteger los bosques*. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/redes-inteligentes/helicopteros-drones-bateria-dispositivos-tecnologicos-para-proteger-bosques>

Enel Green Power. (2022). *Paneles solares más eficientes: las soluciones basadas en la naturaleza son las más innovadoras*. <https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articulos/2022/09/eficiencia-paneles-solares-soluciones-innovadoras>

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. (2020). *Balanço da implementação das redes inteligentes em 31.DEZ.2020*. <https://www.erse.pt/media/thrgy4q5/balancoredesinteligentes2020.pdf>

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. (2020a). *Aprovação de Projeto-Piloto ao Abrigo do Artigo 22.º do Regulamento dos Serviços das Redes Inteligentes - Utilização dos Dados de Qualidade de Serviço Técnica Recolhidos*. https://www.erse.pt/media/fqjpl2id/projeto-piloto_emi_qs.pdf
<https://www.eurelectric.org/stories/electrification/smart-meter-vision/>

European Commission. (2014). *Benchmarking smart metering deployment in the EU-27*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014SC0188>

European Commission. (December de 2022). *REPowerEU: New industrial Alliance to boost the EU's solar power and energy security | Press Release*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_7617

- European Commission. (2022a). *Smart cities: Cities using technological solutions to improve the management and efficiency of the urban environment*. https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en
- European Commission. (2023). *Potencia renovable instalada prevista para 2030* (Spain Draft Updated NECP 2021-2030). https://commission.europa.eu/publications/spain-draft-updated-necp-2021-2030_en
- European Commission. (2023a). *Potencia renovable instalada prevista para 2030* (Italy Draft Updated NECP 2021-2030). <https://commission.europa.eu/system/files/2023-07/ITALY%20-%20DRAFT%20UPDATED%20NECP%202021%202030%20%281%29.pdf>
- European Commission. (2023b). *Potencia renovable instalada actual y prevista para 2030* (Portugal Draft Updated NECP 2021-2030). https://commission.europa.eu/system/files/2023-07/EN_PORTUGAL%20DRAFT%20UPDATED%20NECP.pdf
- Forbes. (2020). *Neu Energy: Energía limpia con disrupción*. <https://forbes.co/2020/11/06/emprendedores/top-100-neu-energia-limpia-con-disrupcion>
- Futured. (2020). *Visión Futured 2050*. http://www.futured.es/wp-content/uploads/2020/06/20200626_libro-Vision-FUTURED-hacia-2050.pdf
- General Electric Digital. (2023). *Predix Platform*. <https://www.ge.com/digital/iiot-platform>
- Global Energy Monitor. (2023). *Una carrera hacia la cima - América Latina*. <https://globalenergymonitor.org/wp-content/uploads/2023/03/GEM-LATAM-report-Spanish.pdf>
- GlobalData. (2021). *UK Expected renewable power capacity 2030*. <https://www.globaldata.com/media/power/increasing-investment-wind-power-lead-uks-transition-thermal-power-renewables-says-globaldata/>
- Gobierno de España. (2021). *El Gobierno destina 525 millones a digitalizar las redes de distribución e impulsar la recarga de vehículos eléctricos en la vía pública*. <https://planderecuperacion.gob.es/noticias/el-gobierno-destina-525-millones-a-digitalizar-las-redes-de-distribucion-e-impulsar-la-recarga>
- Gobierno de la República Argentina. (2017). *Estrategia Nacional de Ciberseguridad de la República Argentina*. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/infoleg/res829-01.pdf>
<https://www.italiadomani.gov.it/it/home.html>
- Hub de energía. (2021). *Balance energético e infraestructura - Oferta y demanda de electricidad*. <https://hubenergia.org/es/indicadores/oferta-y-demanda-de-electricidad>
- Hub de Energía. (2022). *Acceso al servicio de electricidad*. <https://hubenergia.org/index.php/es/indicadores/acceso-al-servicio-de-electricidad>
<https://hugoenergyapp.co.uk/>
- Iberdrola. (2023). *¿Cómo puede el 'blockchain' acreditar el origen de la energía verde?* <https://www.iberdrola.com/innovacion/blockchain-energia#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20puede%20el%20'blockchain',origen%20de%20la%20energ%C3%ADa%20verde%3F&text=El%20grupo%20Iberdrola%20ha%20puesto,y%20consume%20es%20100%20%25%20renovable>
- IBM. (2022). *Repsol crea junto a IBM una nueva solución de ciberseguridad para sus activos tecnológicos*. <https://es.newsroom.ibm.com/announcements?item=122758>
- IEBS Business School. (2021). *“Los costes de los ciberataques en lo que va de año ascienden a los 6.000 billones de euros”*. <https://www.iebschool.com/saladeprensa/2021/11/19/los-costes-los-ciberataques-lo-va-ano-ascienden-los-6-000-billones-euros/>
- International Energy Agency. (2017). *Digitalization and Energy*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b1e6600c-4e40-4d9c-809d-1d1724c763d5/DigitalizationandEnergy3.pdf>
- International Energy Agency. (2020). *Data centres and data transmission networks: Activity*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks>
https://iea.blob.core.windows.net/assets/90602336-71d1-4ea9-8d4f-efeeb24471f6/Korea_2020_Energy_Policy_Review.pdf
- International Energy Agency. (2021). *Korean New Deal - Digital New Deal, Green New Deal and Stronger Safety Net*. <https://www.iea.org/policies/11514-korean-new-deal-digital-new-deal-green-new-deal-and-stronger-safety-net>
- International Energy Agency. (2021a). *Portugal 2021 Energy Policy Review*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a58d6151-7f5f-4cd7-891e-6b06540ce01f/Portugal2021EnergyPolicyReview.pdf>
- International Energy Agency. (2023). *Digitalisation: Technology deployment*. <https://www.iea.org/energy-system/decarbonisation-enablers/digitalisation>

International Energy Agency. (2023b). *Italy 2023 Energy Policy Review*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/71b328b3-3e5b-4c04-8a22-3ead575b3a9a/Italy_2023_EnergyPolicyReview.pdf

International Energy Agency. (2023a). *Digitalisation: Tracking digitalisation*. <https://www.iea.org/energy-system/decarbonisation-enablers/digitalisation>

International Renewable Energy Agency. (2013). *Smart grids and renewables - A guide for Effective Deployment*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/smart_grids.pdf?rev=549ace9985fd454d8ba0329dac64922d

International Renewable Energy Agency. (2016). *Análisis del Mercado de Energías Renovables: América Latina. Resumen Ejecutivo*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Market_Analysis_Latin_America_summary_ES_2016.pdf?la=en&hash=91515195FAA6AAF26969178D5D811456B7C3814D
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_REmap_2016_edition_report.ashx

International Renewable Energy Agency. (2018). *Power system flexibility for the energy transition*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Nov/IRENA_Power_system_flexibility_1_2018.pdf

International Renewable Energy Agency. (2020). *Costos de generación de energía renovable en 2020 - Resumen Ejecutivo*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020_Summary_ES.pdf

International Renewable Energy Agency. (2022). *Italy Energy Profile*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Italy_Europe_RE_SP.pdf

International Renewable Energy Agency. (2022a). *Republic of Korea Energy Profile*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Asia/Republic%20of%20Korea_Asia_RE_SP.pdf
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Spain_Europe_RE_SP.pdf

International Renewable Energy Agency. (2022d). *United States of America Energy Profile*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/North-America/United-States-of-America_North-America_RE_SP.pdf?rev=73d666d5783d467385d16c03c818473d
https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/Portugal_Europe_RE_SP.pdf

International Renewable Energy Agency. (2023). *Unlocking Smart Grid Opportunities in Emerging Markets and Developing Economies*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/0b8c1500-2b02-4aaf-9072-90d88ae1e66c/UnlockingSmartGridOpportunitiesinEmergingMarketsandDevelopingEconomies.pdf>

International Renewable Energy Agency. (2022c). *United Kingdom Energy Profile*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Statistics/Statistical_Profiles/Europe/United-Kingdom_Europe_RE_SP.pdf?rev=43ec3aaa082d46b09f99a782f0576eb7
<https://www.trade.gov/country-commercial-guides/haiti-energy>

Joint Research Centre. (2023). *European Energy Efficiency Platform*. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/>

KEPCO. (2017). *Contributing to customer service improvement and rational use of electricity according to the spread of AMI*. https://www.kepri.re.kr:20808/board/news_data/729
https://home.kepco.co.kr/kepco/front/html/WZ/2018_09_10/sub12.html

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, Softex. (2022). *Indústria de Software e Serviços de TIC no Brasil*. <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2022/07/relatorio-do-mcti-aponta-que-industria-de-software-e-servicos-de-tic-cresceu-6-5-no-brasil-em-2021>

Ministerio de Energía de Chile. (2021). *Acceso Equitativo a la Energía Sostenible - Políticas públicas para combatir la pobreza energética en Chile*. <https://energia.gob.cl/sites/default/files/accesoequitativoenergiasostenible.pdf>

Ministerio de Energía de Chile. (2021a). *Estrategia Nacional de Electromovilidad*. <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3773>

Ministerio de Interior y Seguridad Pública Gobierno de Chile. (2017). *Política Nacional de Ciberseguridad 2017-2022*. https://cms-dgd-prod.s3-us-west-2.amazonaws.com/uploads/pdf/Politica_Nacional_de_Ciberseguridad_2017.pdf?

Ministerio del Interior y Seguridad Pública Gobierno de Chile. (2020). *Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres - Plan Estratégico Nacional 2020-2030*. <https://emergenciaydesastres.mineduc.cl/wp-content/uploads/2021/04/POLITICA-NACIONALGESTIO%CC%81N-REDUCCIO%CC%81N-DEL-RIESGO-DE-DESASTRES-2020-2030.pdf>

Naciones Unidas. (2022). *Litio en América Latina*. <https://www.undp.org/es/latin-america/blog/graph-for-thought/lithium-latin-america-new-quest-el-dorado>

NVIDIA. (2022). *Siemens y NVIDIA se asocian para habilitar gemelos digitales en directo*. <https://www.nvidia.com/es-es/omniverse/digital-twins/siemens/>

OECD. (s.f.). *US Partnership for Energy Sector Climate Resilience*. <https://www.oecd.org/governance/toolkit-on-risk-governance/goodpractices/page/uspartnershipforenergysectorclimateresilience.htm>

OFGEM. (2023). *Regulatory Sandbox: Emergent Energy Systems Ltd - 2023*. <https://www.ofgem.gov.uk/publications/regulatory-sandbox-emergent-energy-systems-ltd-2023>
<https://www.olade.org/publicaciones/panorama-energetico-de-america-latina-y-el-caribe-2021-2/>

Organisation for Economic Cooperation and Development. (2018). *Policy perspectives Climate-resilient infrastructure*. <https://www.oecd.org/environment/cc/policy-perspectives-climate-resilient-infrastructure.pdf>

Organización Latinoamericana de la Energía. (2023). *Estrategia para una América Latina y el Caribe más renovable*. https://www.olade.org/wp-content/uploads/2023/03/Estrategia-para-una-America-Latina-y-el-Caibe-mas-renovable_VF.pdf

Organización Meteorológica Mundial. (2021). *Atlas de la OMM sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019)*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10992

Organización Meteorológica Mundial. (2023). *Estado del clima en América Latina y el Caribe 2022*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11702

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2021). *Latin American Economic Outlook 2021: Working Together for a Better Recovery*. <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/91aef103-en/index.html?itemId=/content/component/91aef103-en>

Presidência do Conselho de Ministros. (2019). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 92/2019, de 5 de junho - Aprova a Estratégia Nacional de Segurança do Ciberespaço 2019-2023*. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/resolucao-conselho-ministros/92-2019-122498962>
<https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/centro-de-control-de-energias-renovables>

Red Eléctrica de España. (2023). *Potencia instalada - Información elaborada con datos provisionales a enero del 2023*. <https://www.sistemaelectric-ree.es/informe-del-sistema-electrico/generacion/potencia-instalada>

Repsol. (2023). *Las ciudades inteligentes son ya una realidad*. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/tecnologia-innovacion/smart-cities/index.cshtml#:~:text=Una%20smart%20city%20es%20aquella,de%20vida%20de%20sus%20ciudadanos>

South Korean Ministry of Science and ICT. (2019). *National Cybersecurity Strategy*. <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&bbsSeqNo=68&nttSeqNo=1735913>

South Korean Ministry of Trade, Industry and Energy. (2018). *Expected renewable installed capacity - Korea's Renewable Energy 3020 Plan*. <https://gggi.org/site/assets/uploads/2018/10/Presentation-by-Mr.-Kyung-ho-Lee-Director-of-the-New-and-Renewable-Energy-Policy-Division-MOTIE.pdf>

Telefónica, S. (2022). *Qué es la transformación digital y cuáles son sus ventajas*. <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/que-es-la-transformacion-digital-y-cuales-son-sus-ventajas/>

TelefónicaTech. (2019). *“Modelos predictivos: ¿cómo prevenir catástrofes naturales?”*. <https://telefonicatech.com/blog/modelos-predictivos-como-prevenir-catastrofes-naturales#:~:text=A%20nivel%20global%2C%20los%20desastres,cobran%20la%20vida%20de%20miles>

TelefónicaTech. (2022). *Qué es Edge Computing, explicado de manera sencilla*. [https://telefonicatech.com/blog/edge-computing-que-es#:~:text=La%20mejor%20definici%C3%B3n%20para%20entender,en%20ingl%C3%A9s\)%20de%20la%20red.](https://telefonicatech.com/blog/edge-computing-que-es#:~:text=La%20mejor%20definici%C3%B3n%20para%20entender,en%20ingl%C3%A9s)%20de%20la%20red.)

TERNA. (2022). *Potencia instalada renovable (GW) en Italia*. <https://www.terna.it/en/electric-system/transparency-report/installed-capacity>

Tesla. (2023). *Software Tesla Energy*. https://www.tesla.com/es_es/support/energy/tesla-software

The Global ESCO Network. (2023). *ESCO associations*. <https://globalesconetwork.unepccc.org/esco-associations/>
<https://wdr2021.worldbank.org/spotlights/datas-carbon-footprint/>

Transactive Energy Colombia. (s.f.). *Peer-to-Peer: El primer piloto de intercambio de energía entre pares en Colombia*. <https://www.transactive-energy.co/peer-to-peer/>

U.S. Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. (2021). *2015 Cyber-Attack Against Ukrainian Critical Infrastructure*. <https://www.cisa.gov/news-events/ics-alerts/ir-alert-h-16-056-01>

U.S. Department of Energy. (2022). *Federal financing tools by the Grid Deployment Office*. <https://www.energy.gov/gdo/federal-financing-tools>

- U.S. Department of Energy - National Renewable Energy Laboratory. (2023). *National Cybersecurity Strategy*. <https://www.nrel.gov/innovate/cybersecurity-accelerator.html>
- U.S. Department of Energy. (2022a). *Recovery Act: Smart Grid Investment Grant Program*. https://www.smartgrid.gov/recovery_act/overview/smart_grid_investment_grant_program.html
- U.S. Energy Information Administration. (2022). *Electricity generation, capacity, and sales in the United States*. <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/electricity-in-the-us-generation-capacity-and-sales.php#:~:text=At%20the%20end%20of%202022,solar%20photovoltaic%20electricity%2Dgeneration%20capacity.https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=108&t=1>
- U.S. Energy Information Administration. (2023). *Annual Energy Outlook 2023*. <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=16-AEO2023®ion=0-0&cases=ref2023&start=2021&end=2030&f=A&linechart=ref2023-d020623a.4-16-AEO2023&map=&sourcekey=0>
- UK Department for Energy Security and Net Zero. (2021). *Digitalising our energy system for net zero*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1004011/energy-digitalisation-strategy.pdf
- UK Department for Energy Security and Net Zero. (2022). *Smart Meter System based Internet of Things applications programme*. <https://www.gov.uk/government/publications/smart-meter-system-based-internet-of-things-applications-programme>
- UK Department for Energy Security and Net Zero. (2023). *Smart Meter Statistics in Great Britain: Quarterly Report to end March 2023*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1159350/Q1_2023_Smart_Meters_Statistics_Report.pdf
- UK Department for Energy Security and Net Zero. (2023a). *UK Installed capacity 2023 - Energy Trends*. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1166039/Energy_Trends_June_2023.pdf
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. (2022). *Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2030*. <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD/PNGRD-2022-Actualizacion-VF.pdfhttps://www.fao.org/faolex/results/details/en/c/LEX-FAOC199315/>
- University of Strathclyde. (2023). *'Digital twin' project will inform future innovation in the UK energy industry*. <https://www.strath.ac.uk/whystrathclyde/news/2023/digitalwinprojectwillinformfutureinnovationintheukenergyindustry/>
- Uruguay Presidencia. (2019). *"Uruguay es el primer país de América Latina en desarrollar Internet 5G con servicio comercial"*. <https://www.gub.uy/presidencia/comunicacion/noticias/uruguay-es-primer-pais-america-latina-desarrollar-internet-5g-servicio#:~:text=Uruguay%20Presidencia,-Presidencia&text=El%20despliegue%20de%20la%20red,presidente%20de%20Antel%2C%20Andr%C3%A9s%20Tolosa.>
- World Bank. (2021). *El Banco Mundial apoya un sistema eléctrico inclusivo, verde y resiliente para la recuperación económica del Perú*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2021/09/09/the-world-bank-supports-an-inclusive-green-and-resilient-electricity-sector-for-peru-s-economic-recovery>
- World Energy Council. (2022). *World Energy Issues Monitor - Regional Perspectives*. https://www.worldenergy.org/assets/downloads/WEIM2022_-_Regional.pdf?v=1674573393
- WWF Internacional. (2014). *Líderes en Energía Limpia: Países Top en Energía Renovable en Latinoamérica*. http://awsassets.wwf.es/downloads/tabare_lideres_en_energias_limpias_baja_r.pdf



BID

Mejorando vidas