

Ciudades Inclusivas, Sostenibles e Inteligentes (CISI)

Tendencias en materia de digitalización del sector eléctrico

Diego Messina
Rubén Contreras Lisperguer
René Salgado Pavez



NACIONES UNIDAS

CEPAL



cooperación
alemana

DEUTSCHE ZUSAMMENARBEIT

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

 www.cepal.org/es/publications

 www.cepal.org/apps

Tendencias en materia de digitalización del sector eléctrico

Diego Messina
Rubén Contreras Lisperguer
René Salgado Pavez



Este documento fue preparado por Diego Messina, Consultor de la Unidad de Agua y Energía de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), junto con Rubén Contreras Lisperguer y René Salgado Pavez, Oficial de Asuntos Económicos y funcionario, respectivamente, de la misma División, en el marco del proyecto “Ciudades inclusivas, sostenibles e inteligentes en el marco de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe”, clúster Tecnología y Energía, ejecutado por la CEPAL en conjunto con la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania. El proyecto forma parte del programa de cooperación CEPAL/BMZ-GIZ.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2022/119
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2022
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.22-00593

Esta publicación debe citarse como: D. Messina, R. Contreras Lisperguer y R. Salgado Pavez, “Tendencias en materia de digitalización del sector eléctrico”, *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2022/119), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Estatus de la digitalización del sector eléctrico.....	13
A. Directrices de la Unión Europea	13
B. Estados Unidos.....	15
C. Tendencias en el uso de la digitalización a nivel mundial	16
D. Estatus de la digitalización del sector eléctrico en América Latina y el Caribe en países seleccionados	17
1. Argentina	17
2. Brasil	18
3. Colombia	20
4. México	21
II. Tecnologías.....	23
A. <i>Big data, machine learning</i> e inteligencia artificial	23
B. Internet de las Cosas (IoT).....	24
C. <i>Smart meters</i>	25
D. Comercialización entre pares (<i>peer to peer trading</i> o P2P)	26
E. <i>Smart grids</i>	27
F. Plataformas digitales.....	28
G. Tecnología <i>vehicle to grid</i> (V2G)	28
III. Conclusiones	29
Bibliografía	31
Cuadro	
Cuadro 1 Estructura de la cadena de valor del sector eléctrico en Argentina	18
Gráfico	
Gráfico 1 Relación pérdidas de electricidad /Oferta total de electricidad en países selectos y América Latina y el Caribe	19

Lista de acrónimos

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CISI	Ciudades Inclusivas Sostenibles e Inteligentes
ERV	Energía renovable variable
GD	Generación distribuida
GIS	Gran Impulso para la Sostenibilidad
IA	Inteligencia artificial
MME	Ministerio de Minas y Energía
P2P	Acrónimo utilizado para referirse a la comercialización entre pares
TIC	Tecnologías de información
UE	Unión Europea
VE	Vehículos eléctricos

Resumen

Desde la Secretaría General de las Naciones Unidas se ha afirmado enfáticamente que un futuro digital inclusivo y equitativo es esencial para el progreso y la paz mundial en el que todos puedan prosperar, y en el que las herramientas digitales no causen daños ni refuercen desigualdades, sino que sean una fuerza para el bien (UN, 2021).

En concordancia con estas directrices la Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL en conjunto con la Cooperación Alemana han estado impulsado el Programa de Cooperación regional CEPAL-BMZ/GIZ “Ciudades inteligentes, inclusivas y sostenibles (CISI) en el marco de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe” con el objeto de operacionalizar el Gran Impulso para la Sostenibilidad (GIS), un enfoque renovado desarrollado por la CEPAL para apoyar el diseño de modelos de desarrollo más sostenibles en la región en el área de la conectividad urbana. El proyecto CISI se encuentra trabajando activamente en la generación de documentos y capacitación técnica a países en distintos ámbitos que contribuyan al desarrollo de la conectividad urbana en ciudades seleccionadas en la región.

En este marco el presente documento pretende identificar las principales tendencias en la digitalización del sector eléctrico, así como analizar las oportunidades que representa la implementación de iniciativas que tiendan a optimizar la transferencia de datos de la industria, en términos de flujos de información del sistema, abordando toda la cadena de valor.

Las temáticas relativas a digitalización presentadas en el documento son variadas y consideran aspectos como la gestión de las relaciones con los usuarios en función de información que, mediante la digitalización, abra la posibilidad de medir, agregar valor y ofrecer oportunidades para las áreas de generación, transmisión y distribución. Por otra parte, este estudio explora estas tendencias aplicadas en el sector de vehículos eléctricos, puesto que, como se verá en el desarrollo del documento, su incorporación representará una demanda importante de electricidad en el futuro. Toda esta información ha sido compilada desde organismos internacionales, artículos académicos y casos de estudio considerados como buenas prácticas desde la perspectiva de la regulación. Los ejemplos citados corresponden a países de América Latina y el Caribe y países de fuera de la región. De esta manera, se consolida un documento que permite evaluar las oportunidades de la región en base a información de instituciones de países que han aplicado la digitalización como una herramienta en la gestión del sector eléctrico.

Adicionalmente, y dado que este documento se realiza en el contexto de un proyecto cuyo objetivo es contribuir al desarrollo de ciudades inteligentes, la infraestructura de la electromovilidad también es abordada como temática de estudio, puesto que la incorporación de una nueva flota de vehículos eléctricos (VE) supone desafíos para la industria eléctrica, puesto que la penetración de los VE puede aumentar la demanda máxima y afectar la estabilidad y fiabilidad de la red (Enea Mele et al., 2021), situación respecto de la cual la digitalización puede ofrecer herramientas y estrategias de solución.

Introducción

En abril de 2021, el Secretario General de las Naciones Unidas, Sr. António Guterres, realizó un llamado a implementar una hoja de ruta para fomentar la cooperación digital internacional. En la ocasión señaló: “Un futuro digital seguro, inclusivo y equitativo es esencial para el progreso y la paz. La hoja de ruta para la cooperación digital que lancé en 2020 ofrece una visión de un mundo digitalmente interdependiente que “conecta, respeta y protege” a todas las personas en el que todos puedan prosperar, y en el que las herramientas digitales no causen daños ni refuercen desigualdades, sino que sean una fuerza para el bien. Los amplios esfuerzos realizados a lo largo de la agitación mundial provocada por la pandemia de COVID-19 han puesto de manifiesto tanto las oportunidades como los riesgos, y han subrayado la necesidad de una mayor gestión colectiva. Agradezco a los diversos grupos y organizaciones que han formado parte de este viaje, y cuento con su apoyo y compromiso de trabajar aún más estrechamente para hacer realidad el potencial de la hoja de ruta” (UN, 2021).

Consecuentemente, el Secretario Ejecutivo de la CEPAL, Sr. Mario Cimoli, durante el primer encuentro de economía digital DigiEcon Latam 2021, señaló respecto a la región que: “Es imprescindible acompañar con políticas complementarias, industriales y tecnológicas, para alcanzar un salto de modelo y que dejen de existir asimetrías con otras regiones que destinan numerosos recursos a la digitalización, como Europa y Estados Unidos” (ALAI, 2021).

Como parte de este contexto, diversas iniciativas ya se están llevando a cabo, por ejemplo, programas para apoyar a las ciudades inteligentes centradas en las personas. Agencias como ONU-Hábitat ha lanzado recientemente su primer Acelerador de Tecnología de Innovación de las Naciones Unidas (UNITAC).

La CEPAL no ha estado ajena y en su rol de agencia destinada a contribuir al desarrollo económico y social de América Latina y el Caribe se encuentra trabajando determinadamente por el fortalecimiento del desarrollo de capacidades digitales en la región.

En este contexto la CEPAL y la Cooperación Alemana han creado e implementado el Programa de Cooperación Regional CEPAL-BMZ/GIZ “Ciudades inteligentes, inclusivas y sostenibles (CISI) en el marco de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe”, que busca fomentar las condiciones técnicas e institucionales para promover el desarrollo sostenible en las dimensiones de la movilidad urbana, es decir, movilización de personas, bienes y servicios que considera impactos de la

digitalización y que se desarrolla en el marco del GIS que ha venido planteando la CEPAL, precisamente en un contexto internacional complejo, respecto de los altos precios de los alimentos y combustibles, con economías resentidas especialmente en zonas urbanas.

El Programa CISI tiene como objetivo central contribuir a que en ciudades latinoamericanas seleccionadas se realicen estudios y actividades para promover el desarrollo sostenible especialmente en los denominados “cluster” (grupos de trabajo) del programa CISI: i) conectividad urbana y movilidad, ii) tecnología y energía, y iii) política Industrial. Todo ello, con un enfoque holístico, integrado e intersectorial, con el fin de promover un proceso de transformación ambientalmente racional, inclusivo y progresivo en la región teniendo presente la componente de la digitalización como un eje transversal en los tres ámbitos de los tres cluster.

En línea con estos mandatos internacionales, y las respuestas que la CEPAL con sus socios estratégicos de la Cooperación Alemana han adoptado para fortalecer las capacidades de la región para digitalizar diferentes sectores de la economía, este documento enfoca sus esfuerzos en la digitalización del sector eléctrico, principalmente para acelerar la transición energética¹, y contribuir a la planificación e integración que la CEPAL ha propuesto para el sector eléctrico de la región mediante el Foro de Planificadores Energéticos².

Cabe destacar que una eventual integración a nivel regional implicará una proporción muy elevada de energía variable renovable (ERV) para el aprovechamiento de los recursos descentralizados de la región, lo que tiene una implicancia muy relevante, ya que los sistemas deben ser más flexibles. Por otro lado, los costes del sistema eléctrico y sus diseños deben tener en cuenta los cambios que devengan de las tendencias de innovación, así como también la electrificación de usos finales como los vehículos eléctricos (VE) para hacer ciudades más sostenibles. Es inevitable que todo este contexto sea acompañado por una fuerte descentralización que se producirá con la operación de sistemas de energía ERV y la digitalización. Este último aspecto, en combinación con las tecnologías digitales, pueden apoyar integración de ERV a través de una respuesta, una mejor gestión de activos, la conexión de dispositivos la recopilación y el intercambio de datos (IRENA, 2019).

Considerando la relevancia del intercambio de datos en su rol de mejorar la gestión de activos, entonces cabe inferir que la digitalización es un facilitador clave para el uso apropiado de estos datos, y así como la transformación del sector, puesto que permite gestionar cantidades de información y operar de manera óptima sistemas cada vez más complejos, especialmente considerando los desafíos operacionales que supone la incorporación de ERV. A la luz de estos impactos positivos que podría tener en la industria, la “creación de valor digital” se tornaría muy importante dados los nuevos modelos de negocio que están surgiendo. Al hablar de creación de valor, esto está referido a “toda generación de productos y servicios basada en el uso de la tecnología digital de la información y la comunicación que da lugar a bienes y servicios que poseen alguna cualidad inherente que constituye un valor” (Jörn Lengsfeld, s.f.).

En consecuencia, será importante plantear la pregunta, ¿dónde puede la digitalización generar valor?, o más bien ¿en qué sentido el sector energético se puede beneficiar de aquello?, la consultora McKinsey ofrece una respuesta para aquello, cuya experiencia en la transformación de las operaciones de las centrales eléctricas y en el impulso de las transformaciones digitales, señala las áreas en las que las soluciones digitales pueden tener un mayor impacto: la seguridad, la eficiencia, el mantenimiento y la fiabilidad de la red (Guzman, Prasanna, et al.). Por su parte IRENA señala que las oportunidades que ofrece la digitalización para el sector energía están relacionadas con una mejor supervisión, funcionamiento y mantenimiento de activos, sus operaciones y control de los sistemas en tiempo real. Por otro lado, cabe destacar la aplicación de nuevos diseños de mercado; y la aparición de nuevos modelos de negocio; (IRENA, 2019).

¹ CEPAL plantea que la transición energética es un proceso que converge en una transformación sostenible del sistema energético a través de políticas públicas, de la adaptación de sus instituciones y de la generación e implementación de nuevas regulaciones (CEPAL, 2021).

² El Foro Técnico Regional de Planificadores Energéticos se define como: “un foro permanente de cooperación que convoque a los equipos y entes involucrados en la planificación energética de América Latina, para generar —de forma conjunta y con visión de largo plazo— el conocimiento necesario que conlleve a una planificación de sistemas energéticos sostenibles, seguros y asequibles, apuntando a la complementariedad en el marco de una transición energética en la Región” (FOREPLEN, 2022).

Dadas esta creciente tendencia, la digitalización ha puesto de manifiesto la importancia de la transformación de los sectores de la economía. Por ello, este documento se centra en citar artículos académicos e instituciones que han identificado en qué sentido y aplicaciones concretas ofrece esta transformación para la industria energética, con especial atención al impacto que tiene la digitalización en las ciudades y los usuarios que las habitan.

Finalmente, el documento analiza la temática de la digitalización de la siguiente manera. Primeramente se realiza un análisis de la relevancia que supone digitalizar las economías y el contexto global en el cual surgen las iniciativas de digitalización. Posteriormente, en el capítulo I se abordan las principales tendencias en la Unión Europea, Estados Unidos y países seleccionados de América Latina y el Caribe. En el capítulo II se brinda información sobre las principales tecnologías que la digitalización ofrece para el sector eléctrico y, en algunos casos, se citan empresas reconocidas en la industria que ya se encuentran ofreciendo soluciones basadas en tecnologías digitales. Finalmente, en el capítulo de conclusiones se abordan los beneficios que tendría la digitalización para los recursos distribuidos, la electromovilidad, la industria y los consumidores.

I. Estatus de la digitalización del sector eléctrico

A. Directrices de la Unión Europea

Uno de los objetivos de la Unión Europea (UE) en este ámbito es duplicar la incorporación de la generación por medio de energías renovables, para alcanzar un 26% en 2030. La UE ha realizado un exhaustivo programa de investigación para desarrollar *smart grids*³, y proyectos que se encaminan a la integración de la red de abastecimiento de energía, que satisfaga las necesidades de la Europa del futuro (European Union, 2005).

La UE ha establecido legislaciones que hacen referencia a la adopción de *smart meters*⁴. Propuso que para el 2020 el 80 % de los clientes de la UE tuviesen *smart meters*, existiendo planes de sustitución aprobados por reguladores (Italia en 2006, España en 2007, Reino Unido y Francia en 2011, Finlandia, Grecia) (European Union, 2009).

En el plan de acción para la digitalización de la energía de la UE, se establecen acciones clave para impulsar la transición energética limpia. Una de ellas es un plan de acción para la digitalización de la energía en todo el sistema que pretenda contribuir a los objetivos de la política energética de la UE, apoyando el desarrollo de un mercado sostenible, ciberseguro, transparente y competitivo para los servicios energéticos digitales, garantizando la privacidad y la soberanía de los datos, y también apoyando la inversión en infraestructura energética digital. Además, pretende garantizar que la digitalización del sistema energético forme parte de la transición energético-ecológica y sea coherente con los objetivos digitales para 2030 (Comisión Europea, 2021).

Más recientemente, y dentro de las tendencias identificadas a nivel mundial para la digitalización, cabe destacar varias iniciativas de la Comisión Europea, la que, a medida que avanza la transformación

³ Una red inteligente, es una red eléctrica que utiliza tecnologías digitales y otras avanzadas para supervisar y gestionar el transporte de electricidad desde todas las fuentes de generación para satisfacer las diferentes demandas de electricidad de los usuarios finales. Las redes inteligentes coordinan las necesidades y capacidades de todos los generadores, los operadores de la red, los usuarios finales y las partes interesadas del mercado de la electricidad para hacer funcionar todas las partes del sistema de la forma más eficiente posible, minimizando los costes y el impacto medioambiental y maximizando la fiabilidad, la resistencia y la estabilidad del sistema (IEA, 2021).

⁴ Un tipo de dispositivo que mide la cantidad de algo que se utiliza con tecnología informática, que muestra la cantidad de energía que se está utilizando y envía esta información a la empresa que suministra la energía (Cambridge, 2022).

tecnológica, se ha enfocado la promoción de Tecnologías de Información (TIC), comercialización *peer to peer* (P2P)⁵, sensores, *big data*⁶, inteligencia artificial y la internet de las cosas (IoT)⁷ (Comisión Europea, 2021).

El plan de acción, presentado como hoja de ruta, fue abierto a la consulta de las autoridades, las empresas, las organizaciones de la sociedad civil y el público en general hasta el 10 de septiembre de 2021. Los comentarios de la hoja de ruta se integraron en la consulta pública, que se cerró el 24 de enero de 2022. Además, la Comisión se puso en contacto con las partes interesadas a través de eventos, una serie de talleres y reuniones para recabar aportaciones para la redacción del plan de acción (Comisión Europea, 2021).

Cabe señalar que, la Comisión Europea, en una publicación de 2020, realizada para presentar una estrategia de integración energética para el Parlamento Europeo, abordó la digitalización como factor de apoyo para la integración energética. El documento argumenta que la integración puede permitir flujos dinámicos e interconectados de vectores energéticos, conectar mercados más diversos entre sí y proporcionar los datos necesarios para ajustar la oferta y la demanda a un nivel más desagregado y casi en tiempo real. Por otra parte, el documento hace referencia a las tecnologías específicas, como sensores, infraestructuras avanzadas de intercambio de datos y capacidades de tratamiento de datos que hagan uso de *big data*, inteligencia artificial, 5G⁸ y tecnologías que pueden mejorar la previsión, permitir la supervisión y gestión de la generación distribuida, junto con mejorar la optimización de los activos, incluido el de la autogeneración. La digitalización también se identificó como clave para liberar todo el potencial de los clientes que tienen un consumo energético flexible en diferentes sectores para contribuir a la integración eficiente de más energías renovable (Comisión Europea, 2020).

Como reflexiones generales en torno a retos para digitalizar el sector eléctrico, la Comisión Europea plantea enfáticamente que la digitalización ofrece una oportunidad de crecimiento económico y el liderazgo tecnológico mundial. Sin embargo, La digitalización representa un reto en términos de aumento de la demanda de energía para los equipos que debe gestionarse adecuadamente en el contexto de un sistema energético integrado (Comisión Europea, 2020).

Dentro de las acciones claves propuestas por la Comisión Europea para la digitalización del sector eléctrico están (Comisión Europea, 2020):

- Adoptar un plan de acción de digitalización de la energía para desarrollar un mercado competitivo de servicios energéticos digitales que garantice la privacidad y la soberanía de los datos y apoye la inversión en infraestructura energética digital (2021).
- Desarrollar un Código de Red sobre ciberseguridad en la electricidad con normas específicas del sector para aumentar la resiliencia y los aspectos de ciberseguridad de los flujos eléctricos transfronterizos, requisitos mínimos comunes, planificación, seguimiento, información y gestión de crisis (para finales de 2021).

⁵ El comercio de electricidad entre pares (P2P) es un modelo de negocio, basado en una plataforma interconectada, que sirve de mercado en línea donde consumidores y productores se "encuentran" para intercambiar electricidad directamente, sin necesidad de un intermediario. El comercio de electricidad P2P es también conocido como el "Uber" o "Airbnb" de la energía, ya que es una plataforma que permite a los generadores locales de energía distribuida vender su electricidad al precio deseado a los consumidores dispuestos a pagar ese precio (IRENA, 2020).

⁶ Es un término que describe el gran volumen de datos —estructurados y no estructurados— que inundan una empresa todos los días. El *big data* puede ser analizado para obtener hallazgos que conlleven a mejores decisiones y acciones de negocios estratégicas (SAS, 2022).

⁷ Describe la red de objetos físicos ("cosas") que llevan incorporados sensores, *software* y otras tecnologías con el fin de conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos comunes hasta herramientas industriales sofisticadas (ORACLE, 2022).

⁸ 5G es la quinta generación de redes móviles. Es un nuevo estándar inalámbrico mundial después de las redes 1G, 2G, 3G y 4G. La 5G permite un nuevo tipo de red que está diseñada para conectar prácticamente a todos y a todo, incluyendo máquinas, objetos y dispositivos. La tecnología inalámbrica 5G está pensada para ofrecer velocidades de datos máximas de varios giga bytes por segundo, una latencia ultra baja, más fiabilidad, una capacidad de red masiva, una mayor disponibilidad y una experiencia de usuario más uniforme para más usuarios. Un mayor rendimiento y una mayor eficiencia potencian nuevas experiencias de usuario y conectan nuevos sectores (Qualcomm, 2022).

- Adoptar los actos de ejecución sobre los requisitos de interoperabilidad y los procedimientos transparentes para el acceso a los datos dentro de la UE (el primero en 2021).
- Publicar una nueva perspectiva de investigación e innovación en energía limpia orientada al impacto para la UE para garantizar que la investigación y la innovación apoyen la integración del sistema energético (para fines de 2020).

B. Estados Unidos

En diciembre del 2007 fue aprobado por el gobierno de los Estados Unidos el *Title XIII of the Energy Independence and Security Act of 2007* (EISA) (EPA, 2007), documento que provee un marco legislativo para que el Departamento de Energía (DOE) desarrolle sus actividades en *smart grids* y, a su vez, refuerce su rol en liderar y coordinar las tareas de modernización de redes del país. Los principales puntos que establece el "Title XIII" son:

- La Sección 1303 establece para al DOE la *Smart Grid Advisory Committee* (comité de asesoría de *smart grid*).
- La Sección 1305 encarga a la National Institute of Standards and Technology (NIST), con DOE y otros, desarrollar un *Smart Grid Interoperability Framework* (marco de interoperabilidad de la *smart grid*).
- La sección 1306 autoriza al DOE desarrollar un *Federal Matching Fund for Smart Grid Investment Costs* El DOE desarrolla en particular en el Oak Ridge National Laboratory, el proyecto VERDE (*Visualizing Energy Resource Dynamically on Earth*) que proporcionará una gran área de conocimiento de la red, integración de datos de sensores en tiempo real, información meteorológica y moldeado de la red (Congreso de los Estados Unidos).

En el Title XIII of the Energy Independence and Security Act of 2007, se caracteriza la *Smart Grid* a la cual se refiere el documento (Congreso de los Estados Unidos):

- Un mayor uso de la información digital y la tecnología de control para mejorar la fiabilidad, la seguridad y la eficiencia de la red eléctrica.
- Optimización dinámica de las operaciones y recursos de la red, con plena ciberseguridad.
- Despliegue e integración de recursos y generación distribuidos, incluidos los recursos renovables.
- Desarrollo e incorporación de la respuesta a la demanda, recursos del lado de la demanda y recursos de eficiencia energética.
- Despliegue de tecnologías "inteligentes" (tecnologías interactivas, automatizadas y en tiempo real que optimizan el funcionamiento físico de los aparatos y dispositivos de consumo) para la medición, las comunicaciones relativas al funcionamiento y el estado de la red, y la automatización de la distribución.
- Integración de aparatos y dispositivos de consumo "inteligentes".
- Despliegue e integración de tecnologías avanzadas de almacenamiento de electricidad y de ahorro de picos, incluidos los vehículos eléctricos y los vehículos eléctricos híbridos, y el aire acondicionado con almacenamiento térmico.
- Suministro a los consumidores de información oportuna y opciones de control.
- Desarrollo de normas de comunicación e interoperabilidad de los aparatos y equipos conectados a la red eléctrica, incluida la infraestructura que da servicio a la red.
- Identificación y reducción de las barreras innecesarias para la adopción de tecnologías, prácticas y servicios de redes inteligentes y servicios.

Hacia el año 2020, Estados Unidos se convirtió en un país líder en la implementación de medidores inteligentes. Dentro de las tecnologías digitales ya utilizadas en el país caben destacar el Internet de las Cosas (IoT), la ciberseguridad, realidad aumentada y analítica avanzada (BID, 2020).

Por otra parte, y según un estudio realizado por la Asociación Española para la Digitalización, un 43% de las empresas de Estados Unidos comercializadoras de energía invirtieron ese año en tecnologías digitales a razón de generar una estrategia comercial (digitales, 2019).

C. Tendencias en el uso de la digitalización a nivel mundial

Para comprender los vínculos del sector eléctrico y sus usos según sector, se ha compilado la siguiente información relativa a aplicaciones concretas de tecnologías digitales (digitales, 2019):

- **Distribución:** destacando en este ámbito el plan de despliegue de *smart meters*, los que registran consumos horarios, eliminan las estimaciones en las facturas, permiten las lecturas remotas y posibilitan la reducción de los tiempos de interrupción del suministro, entre otros. En los últimos años cuando la inversión ha crecido enormemente, haciendo que se tenga una precisión muy exacta en cuanto a la producción diaria de energía. Con el plan de introducir cerca de 200 millones de *smart meters* para electricidad y 45 millones para gas en el 2020, todo esto no hará sino incrementar la capacidad de control de las redes.
- **Big data:** el desarrollo de algoritmos está transformando los hogares en inteligentes y sostenibles, permitiendo al consumidor tomar decisiones sobre el consumo energético de manera instantánea, además de comparar sus facturas con los del vecino o incluso personalizar la contratación de su suministro utilizando sistemas informáticos con su compañía de servicio, fomentando la competencia del sector en su conjunto.
- **Transporte:** desde la perspectiva de la eficiencia energética, la digitalización podría mejorar elementos que permitirían: optimizar las rutas, ganar tiempo en búsqueda de estacionamiento, reducir el combustible necesario, aprovechar el espacio de los vehículos. Según la IEA, en su reporte "*Future of trucks*", se concluye que las soluciones digitales pueden mejorar las operaciones logísticas de camiones y reducir el consumo energético del transporte en alrededor de 20-25%, gracias a la monitorización a los conductores y sistemas de información entre vehículos y centrales para optimizar el uso de vehículos (IEA, 2022).
- **Aviación:** este sector continúa siendo uno de los sectores más contaminantes, también por el aumento de la demanda internacional por vuelos y números de pasajeros, que según datos del *Worldbank* alcanzó a 4000 millones anuales en 2017. En este sentido, la planificación surge como una herramienta para ayudar a pilotos a tomar decisiones de vuelo para reducir consumo de combustibles, incluso se podría ceder la automatización del pilotaje eficiente gracias a la inteligencia artificial.
- **Sector industrial:** gracias a la digitalización, el sector ya ha tenido una relevante experiencia en el uso de tecnologías digitales, para monitorizar el consumo energético en sus procesos productivos. La industria es responsable del consumo de energía en 38% y 24% de las emisiones de CO₂. Actualmente ya muchas industrias poseen sistemas de sensores para identificar ineficiencias en consumos y formas de detectar ahorros. Los robots industriales se estima que alcanzaron 2,6 millones en 2019, frente a los previos 1,6 que había en 2015, mejorando sustantivamente la eficiencia energética de las cadenas de producción.
- **Edificación inteligente:** la optimización del consumo energético podría darse con un uso inteligente de la información en tiempo real. Los edificios tienen un consumo relevante de consumo eléctrico. En economías emergentes como China o India, la demanda de edificios crece a tasas de 8% anuales. Según IEA, se estima un aumento desde 11 PWh en 2014 a unos 20 PWh en 2040. Las tecnologías concretas que se pueden utilizar dicen relación con termostatos, iluminación inteligente, sistemas de control y monitorización, algoritmos predictivos de comportamiento de usuario, entre otros.

D. Estatus de la digitalización del sector eléctrico en América Latina y el Caribe en países seleccionados

1. Argentina

En 2019, se publicó la resolución 247/2019 por Secretaría de Comercio Interior del Gobierno de Argentina (Gobierno de Argentina, 2019), la cual señala que, desde junio de 2020 todos los medidores que se importen y comercialicen en Argentina deberán ser inteligentes. Sin embargo, a 2021 se contaba solo con un proyecto piloto de la ciudad de Amstrong (2012), de un distrito de la ciudad de Salta (2014) y el de la localidad de General San Martín (2015), uno de los más grandes del país con más de 4.500 medidores instalados (CEPAL, 2021).

En el documento Uso Racional y Eficiente de la Energía en Argentina, se reconoce que tanto el sector residencial como comercial, público e industrial presentan problemáticas vinculadas con la transmisión y distribución de energía eléctrica que podría relacionarse al uso de TICs, dado que en todos los casos es necesario el empleo de sistemas de control inteligente en diferentes aspectos. El mismo documento plantea el uso de *software* de simulación del comportamiento energético de edificios, cuyo consumo representan un 31% del total energético nacional. El problema que podría resolver la incorporación de tecnologías tiene que ver con asuntos de diseño: orientaciones, aislamiento, calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y otros; por lo que disponer de un *software* de simulación del comportamiento energético del edificio sería esencial para la gestión energética (Gobierno de Argentina, 2020).

Por otra parte, se identifica el desafío de incorporar tecnologías informáticas para la operación de la generación distribuida y las renovables. En este ámbito, se hace hincapié al rol que tienen los consumidores para también generar electricidad (prosumidores⁹), para lo que se considera indispensable contar con *smart grids* (Gobierno de Argentina, 2020).

El sector privado no ha estado distante de esta revolución tecnológica en Argentina, y Siemens ya inauguró un centro de control y monitoreo remoto. El centro posee la capacidad de analizar y procesar, a través de algoritmos avanzados, un paquete de datos a gran escala (*big data*), que se envían desde las centrales de generación eléctrica. Esto permite planificar el despacho de electricidad en base a comportamientos predictivos, y también detectar futuras fallas antes de que se produzcan y tengan impacto en la disponibilidad de los equipos. De esta manera se logra mayor eficiencia en la generación de energía, así como aumento en la disponibilidad, lo cual representa un alto valor agregado en el funcionamiento de una central de generación de energía (EconoJournal, 2018). Sus principales funciones son:

- Vinculación con Cammesa y Centros Operativos (Transba, Sacme, TGN), para recepción y ejecución de órdenes de despacho y carga, así como el control de Potencia Reactiva.
- Proceso de puesta en funcionamiento y apagado de turbinas.
- Monitoreo de sistemas instrumentados, tanto de turbinas como balance de planta.
- Análisis de comportamiento de sistemas.
- Despacho inteligente de turbinas basado en parámetros económicos y de mantenimiento.
- Gestión de mantenimiento inteligente preventivo, basadas en desgaste y comportamiento de los equipos.

Finalmente, en cuanto a la comercialización entre pares (P2P); Argentina aún no ha adoptado esta tecnología para fomentar este modelo de comercialización (BID, 2020).

⁹ Los prosumidores son un grupo de clientes que participan activamente en el proceso de co-creación de productos. En esencia, el prosumidor es un agente que produce al menos una parte de lo que consume (Toffler, 1980). En el sector de la energía, los prosumidores han empezado a surgir durante la última década con la introducción de tecnologías de energías renovables asequibles, como los paneles solares fotovoltaicos. La definición de un prosumidor de energía abarca la naturaleza múltiple del papel de un consumidor que también produce, vende, intercambia o almacena energía (Ford et al., 2016).

a) Oportunidades y desafíos

Como fue mencionado según los informes citados del Gobierno de Argentina, el país tiene oportunidades para mejorar la eficiencia en edificios mediante la edificación inteligente mediante *softwares* de simulación del comportamiento en el uso de la energía, por el alto consumo que representan. En cuanto a *smart meters*, también se ha identificado como un desafío que el país ha aumentado su uso, para así mejorar los datos que se tienen de la generación distribuida y contribuyendo al rol de que podrían desempeñar los prosumidores, para lo cual es fundamental la instalación de tipo de medidores.

Dado que Argentina cuenta con una red con múltiples actores en la generación, transmisión y distribución (véase, el cuadro 1), las oportunidades que el país tiene dicen relación con que los actores privados se enteren sobre las ventajas que las tecnologías de información basadas en sistemas de medición inteligentes e implementen modelos de negocios basados en la regulación vigente en el país, puesto que la tecnología ya existe, y tendría un alto impacto, sobre todo en el sector distribución. Adicionalmente, cabe señalar que el país ya cuenta con un marco regulatorio para el uso de medidores inteligentes.

Sin embargo, esta descentralización de la cadena de valor también tiene desafíos para la concentración de la información de la generación distribuida (GD). De acuerdo con un estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Argentina no tiene información disponible sobre la GD (BID, 2020). El mismo estudio señala que las tecnologías habilitadoras para innovar en el sector aún no están ampliamente utilizadas en Argentina, lo que representa una oportunidad para comenzar a hacer trabajos de cooperación con países de la región como Chile, Brasil y Colombia, que sí presentan un alto nivel de innovación en el sector (BID, 2020).

Cuadro 1
Estructura de la cadena de valor del sector eléctrico en Argentina

Generación	Operación de sistema	Transmisión	Distribución	Retail/Comercialización	Consumo
ENDESA SADESA	CAMMESA	Transener (PAMPA) posee la mayor parte de la concesión de transmisión	El país tiene 23 provincias, cada una de ellas tiene su propio sistema de distribución	El país tiene 23 provincias, cada una de ellas tiene su propio sistema de distribución	Residencial
AES PAMPA		Más 7 Compañías independientes de transmisión	EDENOR (PAMPA)	EDENOR (PAMPA)	Comercial
+ 37 productores independientes			EDESUR (ENEL)	EDESUR (ENEL)	
+ 24 generadores estatales			EPE (Empresa provincial de la energía de Santa Fe)	EPE (Empresa provincial de la energía de Santa Fe)	Industrial
			EPEC (Empresa provincial de energía de Córdoba)	EPEC (Empresa provincial de energía de Córdoba)	
Regulador: ENRE (Ente nacional regulador de la electricidad)					

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Bloomberg New Energy Finance, 2021.

2. Brasil

En 2012, la Agência Nacional de Energia Elétrica-Brasil (ANEEL) publicó la Resolução Normativa nº 502 de 07/08/2012, que reguló el uso de *smart meters* en el país (Portal de Legislação). En adelante, se han llevado varios programas piloto gracias al marco normativo implementado. Sin embargo, en un estudio publicado en 2022 por el Decision Analytics Journal para analizar el despliegue de *smart meters*, se ha identificado que aún se deben superar algunos desafíos en el sector en lo que respecta a, por ejemplo, la pérdida de energía y la falta de interoperabilidad entre los sistemas y los equipos de medición de energía (Lima, Pereira, et al., 2022). Incluso frente a tantos desafíos, el estudio señala que se puede tener una positiva expectativa respecto al uso de *smart meters* en un futuro próximo, motivado principalmente por el envejecimiento de la infraestructura de distribución, la creciente descentralización de la generación de energía, el aumento de la generación de energía renovable, el desarrollo de la movilidad eléctrica y la creciente demanda de electricidad (Lima, Pereira, et al., 2022).

En 2021, el Ministerio de Energías y Minas (MME) publicó un estudio que prevé una “revolución” en el sector energético, destacando que los ámbitos del sector energético en los que se produce la digitalización son más competitivos y eficientes. El potencial de la digitalización del sector energético va mucho más allá de lo que se puede imaginar hoy en día, sugiere el Departamento de Desarrollo Energético del MME que coordina el proyecto Sistemas Energéticos del Futuro (Agencia Brasil, 2021).

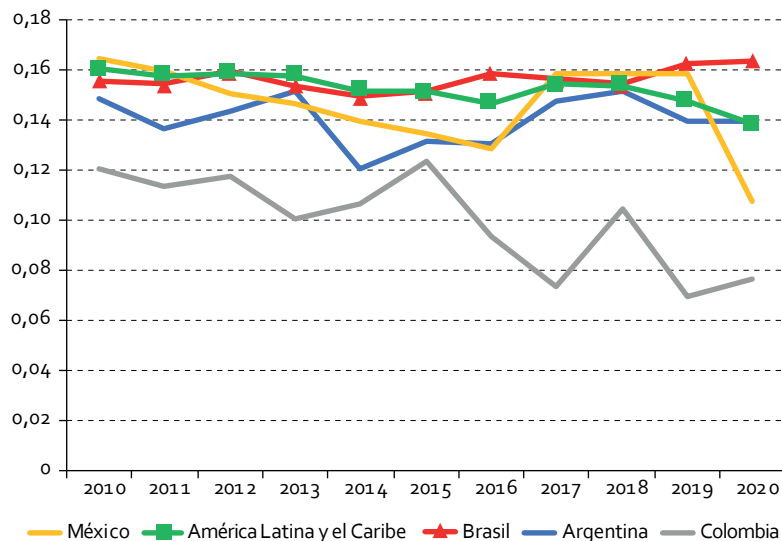
A modo de realizar un análisis sobre el estado de la digitalización en Brasil, el estudio *Uso de novas tecnologias digitais para medição de consumo de energia e níveis de eficiência energética no Brasil*, realizado por Ministerio de Minas y Energía, ha identificado que las nuevas empresas de los actuales consejos de administración de distribución se han tomado tiempo para conocer las operaciones del país, junto con sus redes, características regionales del consumo y la demanda. Tras reestructuraciones operativas, están evaluando desplegar la digitalización, la gestión y el control de las redes y activos, puesto que surge como una necesidad de la nueva visión para una gestión sostenible. En este sentido, pareciera que se está viviendo un momento de inflexión tecnológica en el sector, causada por la obsolescencia del modelo local en comparación con el modelo existente en la sede de nuevos accionistas. Estos nuevos modelos son todavía iniciales, y la implantación de los *smart meters*, controles de la medición, la calidad de la energía, la seguridad de los datos de las mediciones y otros está en fase incipiente y necesita directrices o incentivos nacionales. Los costes de medición y costes de telecomunicaciones para un uso más extendido de la digitalización en las instalaciones dependerán de cómo se maneje el tema y por cómo este coste añadido en la operación puede generar retornos, pues debe demostrarse que la inversión genera retornos (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Cabe mencionar que el país es un ejemplo de analítica avanzada de datos, considerándose un país maduro comparado con el resto de la región (BID, 2020).

b) Oportunidades y desafíos

Brasil aún debe mejorar la comunicación entre los sistemas de energía para mejorar las pérdidas de su sistema. Estos indicadores de pérdidas podrían demostrar mejoras con la supervisión del sistema mediante la adopción de *smart meters*, contribuyendo así a perfeccionar la interoperabilidad entre los sistemas y equipos de medición de energía (Lima, Pereira, et al., 2022). Cabe destacar que las pérdidas de electricidad y oferta total es mayor a del promedio de América Latina y el Caribe (véase, gráfico 1), representando una oportunidad para ser corregido con la incorporación de mejores sistemas de información de red.

Gráfico 1
Relación pérdidas de electricidad / Oferta total de electricidad en países selectos y America Latina y el Caribe
(En cociente)



Fuente: Elaboración propia en base a datos de sieLAC-OLADE.

En relación con el diagnóstico realizado por el estudio elaborado en el marco del *Energy Partnership* Alemania-Brasil en agosto de 2021, se destacan los siguientes aspectos básicos necesarios para modernizar y digitalizar la red del país:

- La necesidad de una comunicación digitalizada eficaz entre el punto de medición y la distribuidora (necesidad de un sistema de información bidireccional y la gestión de este sistema dentro del negocio de la energía), y dilucidar sus costes asociados (quién pagará esta inversión y cómo debe articularse entre los distintos actores del sector) (Ministerio de Minas y Energía, 2021).
- La necesidad de la participación del cliente y una comprensión sobre cuándo, cómo y por qué consumen energía y la de sus costos (personales y de la red) en la tarifa que pagan, hasta las posibilidades de influencia que puede causar en la red a través de su capacidad autogeneración y reducción y/o desplazamiento de consumo. Está claro que el consumidor puede cada vez más, influir en la red, descentralizar la generación, haciendo que el consumo disminuya e influir en toda la estructura empresarial de los distribuidores, decidiendo suministrar energía a otros puntos, o desplazando su consumo a diferentes horas del día. Estos consumidores también podrían influir en la forma del negocio, exigiendo una modernización de la estructura tarifaria y modelos de comercialización de energía diferenciados (Ministerio de Minas y Energía, 2021).
- Finalmente, y uno de los temas cruciales es la necesidad de una modernización normativa y legal de la concesión de distribución de energía del país, junto con exigir, fomentar y controlar la digitalización en toda la cadena de negocio de la energía. Para ello, se debe evolucionar el *statu quo* actual de las operaciones y las condiciones de funcionamiento de los distribuidores de energía, que comprenda con mayor precisión las condiciones de sus redes, que entienda la segmentación (por tipo de perfil de consumo), que pueden ofrecer más servicios y soluciones energéticas, con modelos participativos y reconocer las interferencias de nuevos mecanismos de comercialización de la energía, y posiblemente infiltrarse/competir en su cadena de suministro (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

3. Colombia

El Ministerio de Minas y Energía de Colombia, en su documento “Misión de Transformación Energética”, ha abordado la temática de la digitalización de la red, ofreciendo una definición concreta para ella como: “despliegue de sistemas de medición, espectro electromagnético y manejo de información” (Ministerio de Minas y Energía, Colombia, 2019).

El documento identifica la digitalización como un articulador para la modernización de la red. En este sentido se destaca su rol para “proveer señales para la implementación y despliegue de la infraestructura de medición avanzada, requerimientos de espectro electromagnético y sistemas de telecomunicaciones necesarios para apoyar la digitalización de la red y un adecuado manejo de la información requerida para la toma de decisiones. Los expertos recomendaron que la operación de esta banda sea efectuada por un agente especializado” (Ministerio de Minas y Energía, Colombia, 2019).

Desde el sector privado ya se han generado estudios que hacen alusión a la relevancia que tiene para Colombia la digitalización del sector eléctrico. Por ejemplo, se ha enfatizado en el rápido avance del sector energético del país en cuanto a la incorporación de renovables, destacando la necesidad fomentar cambios de alto impacto para cambiar la forma en la cual se presta el servicio eléctrico por medio de la implementación de infraestructura de medición avanzada, ya que el país tiene como objetivo en el corto plazo el recambio de 15 millones de medidores de energía eléctrica. De esta manera, se espera que al año 2030, Colombia pueda recopilar información del 75% de los usuarios, para medir, recolectar y analizar el uso de la energía que consumen, tanto a empresas como a ciudadanos.

Por otra parte, se reconoce que la adopción de la infraestructura de medición avanzada con *smart meters* representa un paso relevante para la distribución de electricidad. En este modelo, el operador

del servicio podrá leer consumos energéticos sin la necesidad de ir a cada vivienda, identificar posibles intervenciones que signifiquen pérdidas eléctricas o desviación de electricidad, monitorear parámetros para el correcto funcionamiento de la red (corriente, potencia voltaje y calidad), entre otros. (Indra Company, 2020).

a) Oportunidades y desafíos

Colombia aún presenta rezagos en los sistemas de información de generación distribuida (GD), en este aspecto existen grandes desafíos para la monitorización de la generación. Consecuentemente, el país aún está adoptando estrategias para mejorar la ciberseguridad de la red, pero presentando un bajo nivel de madurez en su implementación. Así mismo, el uso de datos en la nube también presenta rezagos en el país (BID, 2020).

4. México

Mediante la Resolución 550/2021, de la Comisión de Regulación de Energía (CRE), se consignan las disposiciones de carácter general, que contienen criterios de eficiencia, confiabilidad, continuidad, seguridad y sustentabilidad del sistema eléctrico nacional mediante el código de red (Diario Oficial, 2021). El documento, identifica a la digitalización y el uso de Tecnologías de Información (TIC) en el subcapítulo 5.7, relativa a la relevancia que tiene la Seguridad de la Información del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) y los códigos asociados para velar por ella. Cada criterio se cita a continuación:

- i) "Criterio REI - 19. Los Usuarios del SEN que sean dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, deben observar en lo conducente el "Acuerdo que tiene por objeto emitir las políticas y disposiciones para la Estrategia Digital Nacional, en materia de tecnologías de la información y comunicaciones, así como establecer el manual Administrativo de Aplicación General en esa materia y en la de Seguridad de la Información", emitido por la Secretaría de la Función Pública".
- ii) Criterio REI - 20. Los Usuarios del SEN, deben observar, implementar y operar mecanismos de Seguridad de la Información para la infraestructura de TIC del SEN de la cual sean responsables, conforme a las reglas del mercado, disposiciones generales que, en su caso, emita la CRE en concordancia con lo establecido por las entidades de la Administración Pública Federal responsables en la materia.
- iii) Criterio REI - 21. Los mecanismos de Seguridad de la Información para la Infraestructura de TIC deben cumplir con las características siguientes:
 - Establecer, operar y mantener un modelo de gestión de Seguridad de la Información.
 - Efectuar la identificación de infraestructuras críticas y activos clave del SEN a su cargo y elaborar un catálogo respectivo, incluyendo tanto los activos físicos como los activos intangibles de información.
 - Establecer los mecanismos de administración de riesgos que permitan identificar, analizar, evaluar, atender y monitorear los riesgos de incidentes de ataques o intrusiones a los sistemas de información.
 - Establecer un sistema de gestión de seguridad de la Infraestructura de TIC que proteja la infraestructura crítica y activos clave con el fin de preservar la operación confiable del SEN.
 - Establecer mecanismos de respuesta inmediata a incidentes de ataques o intrusiones a los sistemas de información.
 - Vigilar los mecanismos establecidos y el desempeño del sistema de gestión de seguridad de la Infraestructura de TIC, a fin de prever desviaciones y mantener una mejora continua.
 - Fomentar una cultura de Seguridad de la Información en los Usuarios del SEN, y

- Establecer mecanismos de recuperación que permitan mantener la operación del SEN aún en eventos que afecten gravemente la infraestructura de TIC como el caso de los desastres naturales” (Diario Oficial, 2021).

b) Oportunidades y desafíos

En virtud de la información expuesta, es correcto afirmar que México ya cuenta con un marco regulatorio para optimizar el funcionamiento del SEN mediante tecnologías de información, particularmente en términos de ciberseguridad, siendo esta una de las oportunidades que tiene México es mejorar la seguridad de la red, así lo expresa el código de red de México, el cual ha abordado la ciberseguridad como estrategia de digitalización fundamental para evitar posibles ataques a la red. La razón de la alusión al uso de TIC para la ciberseguridad es, según la CRE, solo el 21% de las empresas del país utilizan protocolos en contra de *hackers*. Concretamente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), entidad encargada de proporcionar energía al 98.6% de los mexicanos, reveló que hasta el año 2019, el país había sufrido 4.205 ataques cibernéticos que han intentado vulnerar la red eléctrica nacional (Laura Jiménez, 2019).

Desde la reforma energética de 2013, el sector energético mexicano, ha transitado hacia un modelo más abierto, lo que ha permitido la incorporación de actores del sector privado. Estos nuevos generadores de energía están considerando en México los desafíos de seguridad que están asociados a la digitalización del sector energético (Laura Jiménez, 2019).

Son diversas las iniciativas que ya están intentando articular los mecanismos de cooperación para abordar la problemática de la ciberseguridad en México. Para ello, la colaboración de GIZ en México y CENACE se ha desarrollado mediante las áreas de asuntos internacionales y de vinculación institucional, para así identificar oportunidades y sinergias para el desarrollo de regulaciones eficaces y confiables en el Sistema Eléctrico Nacional y el Mercado Eléctrico Mayorista (Gobierno de México).

II. Tecnologías

A. *Big data, machine learning* e inteligencia artificial

Una gran cantidad de datos pueden ser medidos y recogidos en tiempo real o a intervalos cortos de tiempo. Estos datos proceden de la digitalización de los sistemas de información y utilizan tecnologías para comunicar, transportar, analizar y posibilitar una la toma de decisiones de forma rápida o automática. Este es el escenario de la ciencia de los datos, aplicada sobre *big data*, con inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (*machine learning*), que surgen oportunidades para el sector energético. A continuación, ciertas definiciones claves y manera de funcionamiento para entender de lo que tratan estas tecnologías.

La inteligencia artificial es un subconjunto de la ciencia de los datos destinado a crear soluciones que permitan a las máquinas simular el comportamiento humano. El aprendizaje automático, según (Aurélien Géron, 2017), es “la ciencia (y el arte) de programar ordenadores para que aprendan de los datos”. Así, el aprendizaje automático, como subcampo de inteligencia artificial, busca dotar a las máquinas de la capacidad de aprender automáticamente y mejorar con experiencia, sin estar explícitamente programado para ello, contemplando el aprendizaje estadístico y proporcionando predicciones. Para que el *software* aprenda y otorgue soluciones por sí sola, requiere, sin embargo, acción humana previa, proporcionando los datos pertinentes y algoritmos relevantes para el aprendizaje. Además, deben establecerse reglas para analizar el conjunto de datos y reconocer patrones. Una vez que los datos están disponibles y se han definido las reglas, la inteligencia artificial puede, entre otras cosas, encontrar, extraer y resumir datos relevantes y utilizar el aprendizaje automático para reconocer patrones y regularidades en ellos. A partir de los datos analizados, se pueden hacer predicciones y probabilidades para la ocurrencia de ciertos eventos (Aurélien Géron, 2017).

Los sistemas pueden ser habilitados para adaptarse de forma independiente a los cambios en él, independientemente de los cambios en la situación de los datos. Se necesitan grandes conjuntos de datos para entrenar los algoritmos. Los datos de formación son absolutamente necesarios para necesario para obtener predicciones precisas en el aprendizaje automático. El aprendizaje automático, según el formulario, disponibilidad y uso de los datos (forma de formación del sistema) se distingue entre el aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y el aprendizaje por refuerzo. A continuación, se ofrecen las características del procesamiento de datos y sus aplicaciones:

- En el aprendizaje supervisado, los datos que se van a analizar están preestablecidos, por lo que se busca una salida/resultado específico condicionado a los datos proporcionados. Al final del procesamiento, los patrones aprendidos deben transferirse a nuevos conjuntos de datos. Como ejemplo, se puede mencionar el análisis de pérdidas no técnicas en el entorno de los *Smart*.
- En el aprendizaje no supervisado, no se hace ninguna especificación; el algoritmo busca patrones en los datos de forma independiente y sin especificación, generando un modelo estadístico para un conjunto dado de entradas, que describe las entradas y asigna categorías y correlaciones reconocidas. En este ámbito, se destaca la detección de los patrones de consumo de energía y las características del prosumidor en determinadas zonas.
- El aprendizaje por refuerzo se basa en el reconocimiento de condiciones históricas de datos positivos y negativos, y la influencia de estos datos en el modelo. Esta interacción informa al algoritmo de cómo reaccionar ante diferentes situaciones. Esta información la proporciona el ser humano. El ejemplo típico es el uso en vehículos de autoconducción, pero en energía, la aplicación de una multitud de sensores en las redes permitirá aplicaciones autónomas de autoaprendizaje y adaptación con soporte para la gestión eficiente de recursos y/o tareas. Una de las aplicaciones que ofrece este tipo de aprendizaje es, por ejemplo, detectar un comportamiento diferenciado de uso de energía, donde el sensor puede enviar una señal a un centro de operaciones indicando, o la demanda de energía de un cliente o de una región, permitiendo una rápida adaptación de la variación de carga detectada y/o sobre cargas (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

Algunas empresas que son ejemplos de casos aplicados de estas tecnologías para el sector energético son:

- BeeBryte: establecida en Singapur, ofrece un servicio de operación y mantenimiento remoto de sistemas de calefacción y refrigeración con su tecnología de control-mando predictivo. Con numerosas referencias en Europa y Asia, se dirigen a sitios con grandes instalaciones de alto consumo energético para producir refrigeración (aire acondicionado y refrigeración) o calefacción a partir de sistemas HVAC-Refrigeración. Los principales segmentos de mercado a los que se dirigen son: Instalaciones de almacenamiento con control de temperatura, grandes edificios comerciales y sitios de producción sensibles (industria alimentaria principalmente) (Beebryte, 2021).
- Verdigris: establecida en Estados Unidos, mediante sensores e inteligencia artificial procesa microdatos, y puede localizar equipos que utilizan un exceso de energía, tomar decisiones informadas sobre la inversión en eficiencia energética junto con encontrar ineficiencias ocultas (Verdigris, 2022).

B. Internet de las Cosas (IoT)

En términos generales, añadir sensores en puntos específicos de la cadena de valor de la industria energética para hacer seguimiento a sus patrones de uso mediante sistemas informáticos conectados al internet es una de las aplicaciones más recurrentes de esta tecnología. Junto con ello, la facilidad de la comunicación y el procesamiento ágil e inteligente de la información detectada, presentan un universo de posibilidades y, recurrentemente, de control y seguridad.

El concepto de Internet de los objetos (IoT) se refiere a los objetos del mundo físico real que están equipados con sensores y perfectamente integrados en su ambiente. Estos objetos pueden intercambiar valores medidos directamente a través de internet. Mediante la conexión de sensores individuales y medidores, estos datos pueden ser recogidos de forma centralizada o descentralizada y puestos a disposición para los procedimientos de análisis (ORACLE, 2022b).

Se estima que cada segundo se conectan 127 nuevos dispositivos conectados a Internet y que un total de tres billones de dispositivos estarán en línea en 2030 (Patel, Shangkuan, et al., 2017). Esto significa

que la IoT también abarcará el mundo de la energía, lo que implica que el ahorro de energía en tiempo real en el futuro requiere una alta frecuencia de interacciones entre potencialmente millones o miles de millones de dispositivos. Los objetos cotidianos ya están conectados a las redes para proporcionar una variedad de servicios o aplicaciones en áreas como los VE y las redes inteligentes.

La IoT engloba la conexión máquina a máquina (M2M), donde los dispositivos interactúan y compartir datos sin la participación directa de personas, y las “cosas” están conectadas a las redes para permitir personas para controlar a distancia los procesos o gestionar sus dispositivos. Por ejemplo, los sensores con inteligencia para apagar el aire acondicionado y la iluminación según iluminación, basada en el reconocimiento de personas que circulan por una sala, en función de mejorar la eficiencia de forma inteligente (IBM, 2016).

Algunas empresas que ya se encuentran aplicando la IoT para la industria energética:

- Zaphiro: establecida en Suiza, con un módulo de supervisión de la red aumenta la visibilidad del estado de la red por parte del operador y reduce el tiempo de reacción en caso de situaciones peligrosas. Las mediciones y las alarmas pueden mostrarse en tiempo real mediante distintas interfaces. Por otra parte, combina datos de dispositivos propios o de terceros para supervisar la tensión y los flujos de energía en la red a un ritmo elevado (más de 200 veces más rápido que los dispositivos convencionales), para así evitar cortes de luz y poder actuar rápidamente ante fallos incipientes o intermitentes, contribuyendo así a la seguridad de la red (Zaphiro, 2022).
- Enlighted: establecida en Estados Unidos, ofrece soluciones de IoT mediante tecnología de sensores y una red escalable para la recopilación de datos en tiempo real y aplicaciones de alto valor que, por ejemplo, tienen el potencial de reducir hasta 85% costos energéticos en edificios (Enlighted, 2022).

C. Smart meters

Un *smart meter* o contador inteligente es en sentido estricto, un contador de electricidad que recibe y envía datos digitales y que se integra en una red de comunicación para este fin. Los datos recibidos hacia usuarios domésticos o empresas son, por ejemplo, los cambios de tarifa, periodos tarifarios diferenciados que se facturan de manera diferenciada, entre otros aspectos. Esto abre la posibilidad de, por ejemplo, detectar posibles condiciones de uso o demanda inadecuada para así, mejorar la eficiencia del consumo. Además de memoria para almacenar información, los *smart meters* normalmente también tienen una interfaz que permite la visualización de esta información entre usuario y empresa proveedora del servicio de electricidad. La seguridad y el control de la comunicación a través de esta interfaz es fundamental para garantizar la integridad y la privacidad de los datos intercambiados. Sin embargo, el uso de VPNs (acrónimo en inglés de *virtual private network* o red privada virtual) para establecer la comunicación, se ha utilizado para garantizar que esta se transmita de manera segura, además del cifrado encriptado de los datos transmitidos/recibidos y las estructuras de *blockchain*¹⁰. Las funciones mínimas de un *smart meter* son proporcionar información de corriente y consumo de las últimas 24 horas, semana, mes año. Estos no tienen restricciones de granularidad de los datos (tiempo entre mediciones) y funciones de medición, por lo que es posible presentar estos datos por hogar en series de tiempo, transmitirlos al proveedor de energía a efectos de facturación o a un tercero para obtener servicios de valor añadido basados en analítica (Ministerio de Minas y Energía, 2021).

De acuerdo con IRENA, los medidores inteligentes harían posible muchas innovaciones, incluyendo, por ejemplo:

¹⁰ *Blockchain*: es un libro mayor compartido e inmutable que facilita el proceso de registro de transacciones y de seguimiento de activos en una red de negocios. Un activo puede ser tangible (una casa, un auto, dinero en efectivo y terrenos) o intangible (propiedad intelectual, patentes, derechos de autor y marcas). Prácticamente cualquier cosa de valor puede ser rastreada y comercializada en una red de *blockchain*, reduciendo el riesgo y los costos para todos los involucrados (IBM, 2022).

- Permitir la fijación de precios en tiempo real.
- Vincular las señales del precio de la electricidad directamente a los aparatos electrodomésticos.
- Proporcionar información detallada al consumidor sobre patrones de consumo de electricidad.
- Permitir diferentes productos de electricidad (por ejemplo, programar un vehículo eléctrico enchufable para que se cargue sólo con energía eólica).

Esto puede fomentar las energías renovables, por ejemplo, proporcionando a los consumidores información que les permita utilizar electricidad sólo cuando esté disponible a partir de las energías renovables (esto sólo funcionará con cargas aplazables en el huso horario diario, como los lavavajillas y la carga de vehículos eléctricos) (IRENA, 2013).

Una tendencia de los *smart meters* es su posibilidad de conectarlos con aplicaciones de dispositivos celulares. Actualmente, la reconocida empresa Eonenergy está desarrollando *Smart meters* para monitorear el consumo en teléfonos celulares y ver cuánta energía se está usando y cuánto se está gastando casi en tiempo real (eonenergy, 2017).

D. Comercialización entre pares (*peer to peer trading* o P2P)

El comercio de energía entre iguales (P2P) ha surgido como un sistema de próxima generación en la gestión de la energía que permite a los prosumidores comerciar con su excedente de electricidad. Esto crea oportunidades para los mercados de sistemas eléctricos y transforma la forma en que los consumidores utilizan su energía, permitiéndoles comerciarla con sus pares. Los mercados de electricidad P2P pueden permitir a los consumidores elegir libremente su fuente de energía eléctrica (Wongthongtham, Marrable, et al., 2021), por ejemplo, invirtiendo en energía renovable producida localmente con GD.

Se cree que el *blockchain* es la próxima revolución digital y se cree que tendrá tanto impacto como Internet (Wang & Kogan, 2018). Tiene el potencial de permitir la difusión del poder a través del sistema, dando a cada participante una oportunidad igual sin que una autoridad central controle la información (en algunos casos). La información es abierta, facilitando la transparencia. Recientemente el *blockchain* ha recibido una gran atención tanto por parte de los académicos como de la industria eléctrica y se ha aplicado en casi todos los campos, especialmente en el comercio de energía. La adopción de la tecnología *blockchain* para el comercio de electricidad P2P permite la transición de un mercado altamente centralizado y controlado por unos pocos actores clave, a un mercado descentralizado más democrático dominado por las microrredes. Aunque el concepto de comercio de energía P2P no es nuevo (Andoni, Robu, et al., 2019), recientemente ha despertado el interés de los académicos y del sector eléctrico, principalmente por el rol cada vez más activo prosumidores gracias a la disminución de los costos de las tecnologías fotovoltaicas (Ford et al., 2016).

Algunas empresas que ya se encuentran ofreciendo servicios basados en esta tecnología son:

- Vandebron: establecida en Ámsterdam, ofrece energía generada de forma realmente sostenible, asegurando su renovabilidad mediante P2P. Los usuarios pueden elegir la fuente de energía a utilizar, ofreciéndose fuentes eólicas, biomasa o solar. Así, los usuarios saben exactamente el tipo de energía que consumen, a 2022, son más de 200.000 hogares que se han conectado con ellos (vandebron, 2022).
- LichtBlick: establecida en Alemania, es un proveedor de electricidad y gas renovable. Se fundó en 1998 y tiene más de un millón de clientes. LichtBlick además gestiona una plataforma informática diseñada para conectar fuentes de energía descentralizadas y renovables de modo que se genere energía siempre que se necesite mediante P2p (Journalism for the Energy Transition, 2022).

E. *Smart grids*

El concepto de *smart grids* se refiere a redes inteligentes, y no se utiliza de manera particular ni son exclusivamente atinentes a la digitalización del sector energético, tampoco hay una definición específica para ello, sino que, se utiliza para describir varias tecnologías que permitirán que las redes eléctricas funcionen de forma más eficiente, especialmente con grandes cantidades de ERV (D. Milborrow, 2016).

La Comisión Europea ofrece una definición que podría ser útil para describir la manera en la cual una *smart grids* opera en conjunto: una red inteligente es una red eléctrica que permite que los dispositivos se comuniquen entre los proveedores y los consumidores, lo que admite gestionar la demanda, proteger la red de distribución, ahorrar energía y reducir costes. Las *smart grids* muestran información sobre la oferta y la demanda, y son particularmente favorables para la integración de cantidades crecientes de ERV, como la solar y la eólica, y de nuevas demandas que van surgiendo, como la carga de VE o almacenamiento de energía en baterías. Esto contribuye a la estabilidad y eficiencia del sistema. Adicionalmente, cabe destacar que las *smart grids* contribuyen a la integración de prosumidores, y que estos respondan a los precios y vendan las cantidades sobrantes de energía eléctrica a la red y beneficiar a su flexibilidad (Comisión Europea, 2022).

De acuerdo a IRENA (IRENA, 2013), existen varias maneras en la cual una *smart grid* puede beneficiar a la incorporación de mayor ERV, puesto que son capaces de operar cuando hay:

- Variabilidad: algunas formas de electricidad renovable, especialmente la eólica y la solar, dependen de un recurso siempre fluctuante (el viento y el sol respectivamente). Como el suministro de electricidad debe satisfacer la demanda de electricidad en todo momento, hay que esforzarse por garantizar que las fuentes de electricidad o la demanda de electricidad sean capaces de absorber esta variabilidad. A modo de ejemplo, un panel fotovoltaico que esté conectado en un sistema que incorpora *smart grid*; si el panel disminuye su salida de electricidad por una nube que tapa el sol, entonces la *smart grid* podría interrumpir ese servicio para dar paso a otro, asegurando el suministro de la red, y cuando la nube se mueva, restablecerlo. Similarmente, la *smart grid* podría cargar VE con turbinas eólicas para que las baterías de los VE se carguen con energía limpia cuando esté disponible.
- Generación distribuida (GD): la generación renovable distribuida, que son sistemas de menor escala, por lo general de propiedad y operación privada, representan un nuevo y diferente modelo de negocio para la electricidad. Las empresas de servicios públicos tradicionales suelen ser reacias a permitir que estos sistemas se conecten a la red debido a temas de seguridad, los efectos en la estabilidad, el funcionamiento de la de la red y las dificultades para valorar y fijar el precio de su generación. La *smart grid* podría apoyar el funcionamiento de la GD de las siguientes maneras: i) reduciendo la producción de la GD, o incluso desconectándola según sea necesario para mantener la fiabilidad, adaptarse a la carga, o proteger a los trabajadores; ii) proporcionar datos en tiempo real sobre la producción eléctrica de la GD; iii) apoyar el sistema de distribución mediante un control más estricto de la tensión.
- Seguridad de la red: Las tecnologías de redes inteligentes pueden tanto aumentar como disminuir la seguridad de la red. Por ejemplo, la supervisión avanzada de la red puede detectar los problemas de la red (como el fallo de una línea de transmisión) con antelación y ayudar a realizar los cambios adecuados (en este caso, desplazar las cargas a otras líneas), mejorando así la seguridad de la red. Por otro lado, un sistema más "abierto (es decir, uno en el que sea más fácil acceder a los datos de la red), podría facilitar el acceso electrónico al sistema, lo que en sí mismo podría causar problemas.

F. Plataformas digitales

Al facilitar los intercambios comerciales, las plataformas digitales reconfiguran el modo en que las personas pueden acceder, vender y comprar energía, especialmente energía limpia proveniente de la GD. Dado que la energía es un elemento de intercambio tan abstracto, el modo en que las plataformas digitales operan, hace que los intercambios energéticos sean visibles y tengan sentido para los usuarios. Los diferentes tipos y objetivos de la comercialización de energía en las plataformas implican diferentes formas de valorizarla. A través de las plataformas, la energía puede convertirse en un producto comercializable para los que tienen capital para invertir, pero también estas plataformas podrían generar valor para los actores del sistema, inclusive, hay potencial para que las comunidades gestionen su energía como un recurso común. Sin embargo, aún se necesita conocer con más detalle las compensaciones entre las valoraciones financieras y medioambientales de la energía, junto con tener certeza de la manera en cómo se distribuyen estas compensaciones entre las diferentes partes involucradas en los intercambios. De manera concreta, los primeros indicios muestran que la comercialización de la energía mediante plataformas digitales abre nuevas posibilidades para los consumidores y prosumidores (Kloppenborg & Boekelo, 2019).

G. Tecnología *vehicle to grid* (V2G)

La tecnología *vehicle-to-grid* (V2G o vehículo a la red) es una tecnología prometedora que permite que los vehículos eléctricos inactivos o aparcados actúen como fuentes distribuidas, que pueden almacenar o liberar energía en los momentos adecuados, permitiendo así el intercambio de energía entre la red y el vehículo eléctrico. Esto aumenta la capacidad total de generación de electricidad y mejora la estabilidad, fiabilidad y eficiencia de la red (Moeini-Aghaie, 2022). Adicionalmente, la tecnología de vehículo a red (V2G) en la red inteligente ofrece a los propietarios de vehículos eléctricos la oportunidad de obtener ingresos. Los algoritmos de IA facilitan la gestión de los vehículos eléctricos y de las interacciones de generación de energía mediante la estimación de las ubicaciones y recursos óptimos para las estaciones de carga, la reducción de la congestión en las estaciones de carga y la gestión de la distribución de energía en la tecnología V2G (Ahmed et al., 2021).

III. Conclusiones

Como se ha presentado, la digitalización en el contexto del Programa CISI, ofrece múltiples beneficios para la industria energética y los usuarios ambos actores esenciales de las ciudades latinoamericanas. La digitalización mediante las *smart grids*, los sistemas de supervisión avanzada podrían contribuir a la seguridad energética a través de la gestión de apagones en las ciudades y sistemas intermedios, lo cuales podrían ser detectados con antelación mediante sensores que detecten fallos en la red, y así permitir hacer las mantenciones y/o acciones necesarias. Por otra parte, desde el sector privado, ya se están mostrando servicios que utilizan Internet de las Cosas, así como herramientas de punta y sensores para transferir información de manera mucho más rápida que los dispositivos convencionales, evitando cortes de energía (luz) y generando alertas tempranas que permitan actuar rápidamente, para asegurar el suministro continuo.

Adicionalmente, la *smart grid* podría apoyar a la incorporación de mayores niveles de ERV, principalmente porque estos recursos provienen de la GD, para la cual, una *smart grid* contribuye con su operación gracias a la posibilidad de desconectar recursos de ERV cuando éstos no estén disponibles, apoyando la operación de los sistemas de distribución mediante un control de tensión apropiado.

Las plataformas digitales muestran un temprano avance para el intercambio de energía, puesto que el modelo de intercambio P2p y la tecnología *blockchain* se encuentra en fase de implementación incipiente, principalmente porque si bien, la tecnología existe, aún no están claros los modelos de negocio que generarán incentivos para que estén más presentes en los mercados de intercambio entre consumidores y prosumidores, o inclusive inversionistas a gran escala.

Los *smart meters* junto a la analítica avanzada, podrían ayudar a predecir comportamientos de usuario, para así, sofisticar las tarifas dependiendo de huso horario del consumo, de manera tal de incentivar su desplazamiento a horarios donde la red no esté sobre saturada, fomentando la eficiencia energética y evitando sobre carga de la red. Por otra parte, la información digital generada ayudaría a personas a tener clara visualización de su consumo mediante aplicaciones digitales de celulares que reciban información de estos dispositivos, para revisar su consumo histórico y analizar su comportamiento de usuario gracias al almacenamiento de información. Por otra parte, posibilitarían el uso exclusivo de energía renovable, siempre y cuando el consumo se dé en periodos desplazables de tiempo, cuando el recurso esté disponible, como por ejemplo el consumo que supondrá la incorporación de mayor flota de VE.

A pesar de que la mayoría de los países analizados cuentan con un marco regulatorio para fomentar el despliegue de *smart meters*, su implementación aún es baja, principalmente debido a que no existen indicios relevantes en términos de negocio sobre cuáles serían las ventajas, siendo este un factor que indetermina sobre quien debe costear la instalación de estos medidores.

Las ventajas que tiene la digitalización para el sector transporte son variadas, como, por ejemplo, ayudar a optimizar el diseño de puntos de carga mediante IA, facilitando modelos de negocios como el V2G. En cuanto a la eficiencia energética, la digitalización podría mejorar elementos que permitirían optimizar las rutas, ganar tiempo en búsqueda de estacionamiento, reducir el combustible necesario, aprovechar el espacio de los vehículos. Por otra parte, la seguridad energética también se puede ver beneficiada, puesto que, los VE aumentarán la demanda de electricidad. En este sentido, si mediante tecnologías de información los usuarios contasen con datos relativos a la sobre carga de la red, estos podrían desplazar su consumo a horarios donde no represente un mayor gasto ni una eventual saturación. Adicionalmente, mediante los modelos de negocio P2P y *smart meters*.

Al ser capaz de incorporar mayores niveles de GD mediante tecnologías que la habiliten, se podrían desarrollar infraestructuras de carga de vehículos eléctricos basados en fuentes limpias. Los *softwares* que permiten gestionar los recursos de GD para la infraestructura de VE ya existen, siendo el más conocido el DERMS¹¹.

Finalmente, cabe mencionar la posibilidad que ofrece el intercambio P2p para cargar los VE con energía exclusivamente renovable, puesto que mediante la certificación de transacciones de electricidad que ofrece el *blockchain*, permitiría rastrear que la energía comprada sea renovable, ayudando a tomar decisiones de consumidor informadas, basadas patrones de consumo o emisiones.

¹¹ Un sistema de gestión de recursos energéticos distribuidos, o DERMS, es una plataforma de software utilizada para gestionar un grupo de recursos energéticos distribuidos (DER) —como paneles solares fotovoltaicos en los tejados, baterías detrás del contador o una flota de vehículos eléctricos— para prestar servicios vitales a la red y equilibrar la demanda con la oferta para ayudar a las empresas de servicios públicos a lograr resultados de misión crítica (A. Larson, 2020).

Bibliografía

- A. Larson. (2020). What Is DERMS and How Can It Help Utilities? Obtenido de <https://www.powermag.com/what-is-derms-and-how-can-it-help-utilities-podcast/>.
- Agencia Brasil. (2021). *Ministério divulga estudo prevendo "revolução" no setor energético*. Obtenido de <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2021-11/ministerio-divulga-estudo-prevendo-revolucao-no-setor-energetico>.
- Ahmed et al. (2021). The role of artificial intelligence in the mass adoption of electric vehicles. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2542435121003500>.
- ALAI. (2021). *Asociación Latinoamericana de Internet*. Obtenido de Desarrollo digital: herramienta de recuperación y crecimiento económico: <https://alai.lat/desarrollo-digital-herramienta-de-recuperacion-y-crecimiento-economico/>.
- Andoni, Robu, et al. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307184>.
- Aurélien Géron. (2017). Obtenido de https://www.knowledgeisle.com/wp-content/uploads/2019/12/2-Aur%C3%Aaglien-G%C3%Agron-Hands-On-Machine-Learning-with-Scikit-Learn-Keras-and-Tensorflow_-Concepts-Tools-and-Techniques-to-Build-Intelligent-Systems-O%E2%80%99Reilly-Media-2019.pdf.
- Beebryte. (2021). *Beebryte*. Obtenido de <https://www.beebryte.com>.
- BID. (2020). *Análisis de brechas y oportunidades de innovación en el sector energético América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Analisis-de-brechas-y-oportunidades-de-innovacion-en-el-sector-energetico-en-America-Latina-y-el-Caribe.pdf>.
- Cambridge. (2022). *Dictionary*. Obtenido de <https://dictionary.cambridge.org/es-LA/dictionary/english/smart-meter>.
- CEPAL. (2021a). *Definiciones del sector eléctrico para la incorporación de las energías renovables variables y la integración regional en América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47656-definiciones-sector-electrico-la-incorporacion-energias-renovables-variables-la>.
- _____. CEPAL. (2021b). *Transición Energética: Hacia una mayor cooperación en integración*. Obtenido de https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/rayen_quiroga.pdf.
- Comisión Europea. (2022). *Smart grids and meters*. Obtenido de https://energy.ec.europa.eu/topics/markets-and-consumers/smart-grids-and-meters_en#smart-grids-task-force.
- _____. Comisión Europea. (2021). *Digitalisation of the energy sector*. Obtenido de https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-system-integration/digitalisation-energy-sector_en.

- _____. Comisión Europea. (2020). Powering a climate-neutral economy: An EU Strategy for Energy System Integration. Obtenido de https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/energy_system_integration_strategy_o.pdf.
- Congreso de los Estados Unidos. (s.f.). *Discover U.S. Government Information*. Obtenido de <https://www.govinfo.gov/content/pkg/BILLS-110hr6enr/pdf/BILLS-110hr6enr.pdf>.
- D. Milborrow. (2016). Wind Energy Economics. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124095489097128>.
- Diario Oficial. (2021). *Diario Oficial, Gobierno de México*. Obtenido de https://dof.gob.mx/2021/CRE/CRE_311221.pdf.
- digitales. (2019). *LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR ENERGIA*. Obtenido de <https://www.digitales.es/wp-content/uploads/2019/06/energia-y-digitalizacion.pdf>.
- EconoJournal. (2018). *EconoJournal*. Obtenido de <https://econojournal.com.ar/2018/05/siemens-inauguro-un-centro-de-control-y-monitoreo-remoto/>.
- Enea Mele et al. (2021). Electromobility and Flexibility Management on a. Enlighted. (2022). Obtenido de <https://www.enlightedinc.com>.
- eonenergy. (2017). *introducing eon see*. Obtenido de <https://www.eonenergy.com/blog/2017/March/introducing-eon-see>.
- EPA. (2007). *Summary of the Energy Independence and Security Act*. Obtenido de [https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-independence-and-security-act#:~:text=Public%20Law%20110-140%20\(2007\)&text=protect%20consumers,of%20the%20Federal%20Government;%20and](https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-independence-and-security-act#:~:text=Public%20Law%20110-140%20(2007)&text=protect%20consumers,of%20the%20Federal%20Government;%20and).
- European Union. (2009). *Measuring Instruments Directive, Energy End-Use Efficiency and Energy Services Directive*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=LEGISSUM%3Al27057>.
- _____. (2005). *Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems. Towards Smart Power Networks*. Obtenido de Third Status report on European Technology.
- Ford et al. (2016). Prosumer Collectives - a review. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/305941797_Prosumer_Collectives_-_a_review.
- FOREPLEN. (2022). *Foreplen*. Obtenido de <https://www.cepal.org/es/foreplen>.
- Gobierno de Argentina. (2020). *Uso racional y eficiente de la energía*. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/uso_racional_y_eficiente_energia_2016_arg_innovadora_2020.pdf.
- _____. (2019). *Resolución 247/2019*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-247-2019-323462/texto>.
- Gobierno de México. (s.f.). Aprovechando la digitalización en el sector energético. Obtenido de <https://www.gob.mx/cre/prensa/se-llevo-a-cabo-el-evento-aprovechando-la-digitalizacion-en-el-sector-energetico?idiom=es>.
- Guzman, Prasanna, et al. (s.f.). Unlocking the value of digital operations in electric power-generation. *McKinsey & Company*. Obtenido de <https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/industries/electric%20power%20and%20natural%20gas/our%20insights/unlocking%20the%20value%20of%20digital%20operations%20in%20electric%20power%20generation/unlocking-the-value-of-digital-operations-in-electric-power>.
- IBM. (2022). *what is blockchain*. Obtenido de <https://www.ibm.com/es-es/topics/what-is-blockchain>.
- _____. (2016). *What is m2m technology*. Obtenido de <https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-m2m-technology/>.
- IEA. (2022). *digitalisation and energy*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>.
- _____. (Noviembre de 2021). *Smart grids*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/smart-grids>.
- Indra Company. (2020). *LA DIGITALIZACIÓN ES CLAVE PARA IMPULSAR LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA EFICIENCIA DEL SECTOR*. Obtenido de https://www.indracompany.com/sites/default/files/201125_np_utilities_sector_energetico.pdf.
- IRENA. (2020). *PEER-TO-PEER ELECTRICITY TRADING*. Obtenido de https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Peer-to-peer_trading_2020.pdf.
- _____. (2019). *INNOVATIONLANDSCAPEFORARENEWABLE-POWEREDFUTURE*. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_summary_EN.pdf?la=en&hash=AoE3FDF6B67DD91D103BB3B4D8ED25FE23A02D1E.
- _____. (2013). *Smart grids and renewables*. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2013/smart_grids.pdf?la=en&hash=08F3E571B5580F017E70BCD1EC39864536681ADB.

- Jörn Lengsfeld. (s.f.). *Digital value creation*. Obtenido de <https://joernlengsfeld.com/en/definition/digital-value-creation/>.
- Journalism for the Energy Transition. (2022). Obtenido de <https://www.cleanenergywire.org/experts/lichtblick>.
- Kloppenborg & Boekelo. (2019). Digital platforms and the future of energy provisioning: Promises and perils for the next phase of the energy transition. *Energy Research & Social Science*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/330054804_Digital_platforms_and_the_future_of_energy_provisioning_Promises_and_perils_for_the_next_phase_of_the_energy_transition.
- Laura Jiménez. (2019). Digitalización y ciberseguridad para el sector energético en México. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.mx/opinion/laura-jimenez/digitalizacion-y-ciberseguridad-para-el-sector-energetico-en-mexico>.
- Lima, Pereira, et al. (Junio de 2022). Analysis of regulatory process for the implementation of smart metering in Brazil. *Decision Analytics Journal*.
- Ministerio de Minas y Energía. (Agosto de 2021). *Uso de novas tecnologias digitais para medição de consumo de energia e níveis de eficiência energética no Brasil*.
- Ministerio de Minas y Energía, Colombia. (2019). *minenergia*. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/cartilla-mision-transformacion-energetica>.
- Moeini-Aghtaie, Z. &. (2022). Scheduling and Operation of Virtual Power Plants. *Sciencedirect*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/book/9780323852678/scheduling-and-operation-of-virtual-power-plants>.
- ORACLE. (2022a). *Internet of Things*. Obtenido de <https://www.oracle.com/cl/internet-of-things/what-is-iot/> (2022b). *Internet of Things*. Obtenido de <https://www.oracle.com/cl/internet-of-things/#:~:text=Oracle's%20Fusion%20Cloud%20Internet%20of,de%20trabajo%20y%20experiencia%20del>.
- Patel, Shangkuan, et al. (2017). *What's new with the Internet of Things?* Obtenido de <https://www2.mvcc.edu/shn/pdf/presentations/whats-new-with-the-iots-2017.pdf>.
- Portal de Legislação. (s.f.). *Resolução Normativa nº 502 de 07/08/2012 / ANEEL*. Obtenido de <https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibelinck.php?numlink=226450>.
- Qualcomm. (2022). *What is 5g?* Obtenido de <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g>.
- SAS. (2022). *Big data insights*. Obtenido de https://www.sas.com/es_cl/insights/big-data/what-is-big-data.html
- Toffler. (1980). *The third wave*. Obtenido de https://ia801301.us.archive.org/26/items/TheThirdWave-Toffler/The-Third-Wave_-_Toffler.pdf.
- UN. (2021). *Implementing the Secretary-General's Roadmap for Digital Cooperation*. Obtenido de Roadmap for Digital Cooperation.
- Vandebroun. (2022). www.vandebroun.nl. Obtenido de <https://vandebroun.nl>.
- Verdigris. (2022). Obtenido de <https://verdigris.com>.
- Wang & Kogan. (2018). Designing confidentiality-preserving Blockchain-based transaction processing systems. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1467089518300794>.
- Wongthongtham, Marrable, et al. (2021). Blockchain-enabled Peer-to-Peer energy trading. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045790621002780#:~:text=Blockchain-enabled%20P2P%20energy%20trading,retailer,%20enabling%20mutually%20beneficial%20transactions>.
- Zaphiro. (2022). Obtenido de <https://zaphiro.ch/solution/>.



En el presente documento se analiza el tema de la digitalización en el sector eléctrico, su relevancia para las economías y su presencia en países seleccionados de la región. También se exploran las principales tendencias en la Unión Europea y los Estados Unidos, junto con las tecnologías de punta que se están aplicando en el mercado eléctrico. Además, se presentan ejemplos de empresas exitosas que ofrecen soluciones basadas en tecnologías digitales para los recursos energéticos distribuidos, la electromovilidad y los consumidores.