

# La revolución digital de la energía hidroeléctrica en los países latinoamericanos

Editor: Arturo D. Alarcón

Autores: Alexander Arch

Rodrigo Cortijo

Eliana Romero

Ebru Canga

Patrick Furrer

Stephen Woodhouse

Horst Dulle

Thomas Koller

División de Energía/  
Departamento de Infraestructura  
y Energía

NOTA TÉCNICA N°  
N.º IDB-TN-01761

# La revolución digital de la energía hidroeléctrica en los países latinoamericanos

Editor: Arturo D. Alarcón

Autores: Alexander Arch

Rodrigo Cortijo

Eliana Romero

Ebru Canga

Patrick Furrer

Stephen Woodhouse

Horst Dulle

Thomas Koller

Febrero 2020

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

La revolución digital de la energía hidroeléctrica en los países latinoamericanos /  
Alexander Arch, Rodrigo Cortijo, Eliana Romero, Ebru Canga, Patrick Furrer, Stephen  
Woodhouse, Horst Dulle, Thomas Koller; editor, Arturo Alarcón.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 1761)

Incluye referencias bibliográficas.

1. Water-power-Technological innovations-Latin America. 2. Energy development-  
Technological innovations-Latin America. 3. Information technology-Latin America. I.  
Arch, Alexander. II. Cortijo, Rodrigo. III. Romero, Eliana. IV. Canga, Ebru. V. Furrer,  
Patrick. VI. Woodhouse, Stephen. VII. Dulle, Horst. VIII. Koller, Thomas. IX. Alarcón,  
Arturo. X. Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. XI. Serie.  
IDB-TN-1761

Códigos JEL: 03, 033, Q25, Q55, Q400, Q410, Q540, Q550, L940

Palabras clave: Innovación, Transformación digital, Central hidroeléctrica,  
Generación de electricidad

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2020 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no-comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas.

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 CNUDMI (UNCITRAL). 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 CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# LA REVOLUCIÓN DIGITAL DE LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

EN LOS PAÍSES LATINOAMERICANOS



Editor:  
**Arturo D. Alarcón**  
Autores:  
**Alexander Arch**  
**Rodrigo Cortijo**  
**Eliana Romero**  
**Ebru Canga**  
**Patrick Furrer**  
**Stephen Woodhouse**  
**Horst Dulle**  
**Thomas Koller**



El editor desea agradecer a Bill Girling, Virginia Snyder y Edwin Malagón por la revisión del documento.

<b>Contacto n.º 1:</b>	<b>Dr. Thorsten Roland Schmidt</b>
Cargo:	director regional
Departamento:	Sector Hidroeléctrico, América Latina
Teléfono celular:	+51 985 285 717
Dirección de correo electrónico:	roland.schmidt@poyry.com

<b>Contacto n.º 2:</b>	<b>Dr. Alexander Arch</b>
Cargo:	jefe de sección de Consultoría en Energía Hidroeléctrica
Departamento:	Sector Hidroeléctrico, América Latina
Teléfono celular:	+51 994 386 560
Dirección de correo electrónico:	alexander.arch@poyry.com

# ÍNDICE

<b>10</b>	<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>
<b>13</b>	<b>DIGITALIZACIÓN</b>
14	.....1.1 ¿Qué es la digitalización?
16	.....1.2 La digitalización en América Latina y el Caribe (ALC)
19	.....1.3 La digitalización en los mercados energéticos de ALC
<b>23</b>	<b>LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ALC</b>
<b>28</b>	<b>LA IMPORTANCIA DE LA DIGITALIZACIÓN PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO</b>
<b>32</b>	<b>PANORAMA GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE DIGITALIZACIÓN (PERTINENTES PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO)</b>
<b>38</b>	<b>NIVEL DE DIGITALIZACIÓN EN LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ALC</b>
41	.....5.1 Estudios de casos que ejemplifican el estado actual de la digitalización en ALC
<b>50</b>	<b>ASPECTOS FINANCIEROS Y ECONÓMICOS DE LA DIGITALIZACIÓN PARA UNA EMPRESA HIDROELÉCTRICA TÍPICA</b>
<b>55</b>	<b>PRINCIPALES BARRERAS Y DESAFÍOS PARA INCORPORAR LA DIGITALIZACIÓN</b>
55	.....7.1 BARRERAS Y desafíos para la digitalización en el sector ENERGÉTICO
55	.....7.2 BARRERAS Y desafíos para la digitalización DEL SECTOR HIDROELÉCTRICO
<b>58</b>	<b>ACCIONES QUE SE DEBEN TOMAR PARA MAXIMIZAR LOS BENEFICIOS DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROELÉCTRICO</b>
58	.....8.1 Eliminación de barreras a nivel nacional
58	.....8.2 Eliminación de barreras a nivel empresarial
60	.....8.3 Eliminación de barreras a nivel regulatorio
<b>62</b>	<b>CONCLUSIONES</b>

## ANEXOS

65	ANEXO I: ÍNDICE DE DESARROLLO DEL ECOSISTEMA DIGITAL:
67	BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA (CAF)
69	ANEXO II: LOS 3 PILARES PRINCIPALES DE LA DIGITALIZACIÓN
70	ANEXO III: EL ÍNDICE DE LA EVOLUCIÓN DIGITAL, EDICIÓN PARA LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (DEI LAC)
74	ANEXO IV: INICIATIVAS DIGITALES EN DIFERENTES PAÍSES DE ALC
71	ANEXO V: ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ALC
73	ANEXO VI: ASPECTOS FINANCIEROS Y ECONÓMICOS DE LA DIGITALIZACIÓN

## ÍNDICE DE FIGURAS

14	Figura 1: ¿Qué es la digitalización?
15	Figura 2: La digitalización está siendo impulsada por una expansión rápida de nuevas tecnologías con la capacidad de generar más datos a costos unitarios cada vez menores
16	Figura 3: Los cuatro impulsores de la evolución digital
17	Figura 4: El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe (DEI LAC)
18	Figura 5: Promedio de horas dedicadas a procesos con autoridades
19	Figura 6: Porcentaje de países con sitios gubernamentales que comparten actualizaciones e información sobre cortes de electricidad o de energía
20	Figura 7: Las tecnologías digitales más importantes que influyen en la industria energética
21	Figura 8: El servicio público digital del futuro
23	Figura 9: Capacidad total de energía hidroeléctrica en ALC: los 10 países principales
28	Figura 10: Posibles usos de la digitalización que podrían implementarse en el ciclo de vida de activos hidroeléctricos para cumplir objetivos clave
32	Figura 11: Las tecnologías de la digitalización y su lugar dentro de la cadena de valor digital
33	Figura 12: Las tecnologías de la digitalización y su lugar dentro de la cadena de valor digital
36	Figura 13: Niveles de valor de gemelo digital
39	Figura 14: Evolución del sistema de monitoreo binacional de Itaipú
39	Figura 15: Estrategia de organización de CTG Brasil
50	Figura 16: Posibles ahorros de costos debido a la digitalización en centrales y redes eléctricas de 2016 a 2040
51	Figura 17: Impactos positivos de la digitalización en las ganancias de los servicios públicos
52	Figura 18: Aspectos financieros de la digitalización de la energía hidroeléctrica
53	Figura 19: Desafíos, soluciones digitales y resultados de centrales hidroeléctricas
65	Figura 20: Índice CAF de desarrollo del ecosistema digital de ALC en 2015
66	Figura 21: Índice CAF de desarrollo del ecosistema digital de ALC en 2015
67	Figura 22: Descripción general de la velocidad promedio de la conexión a Internet para países seleccionados (2019)
69	Figura 23: El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe (DEI LAC)
70	Figura 24: Iniciativas digitales en diferentes países de ALC
71	Figura 25: Tecnologías con mayor relevancia en la generación de electricidad en 2040 en ALC (encuesta de OLADE)
74	Figura 26: Valor de la digitalización para la sociedad y la industria desde 2016 hasta 2025
74	Figura 27: Valor en juego para la industria y la sociedad en general, por iniciativa digital (acumulado de 2016 a 2025)

## ÍNDICE DE TABLAS

72	Tabla 1: Capacidad hidroeléctrica en ALC
73	Tabla 2: Cambio en las ventas y las exportaciones en la industria digital entre 2004 y 2015



# INTRODUCCIÓN

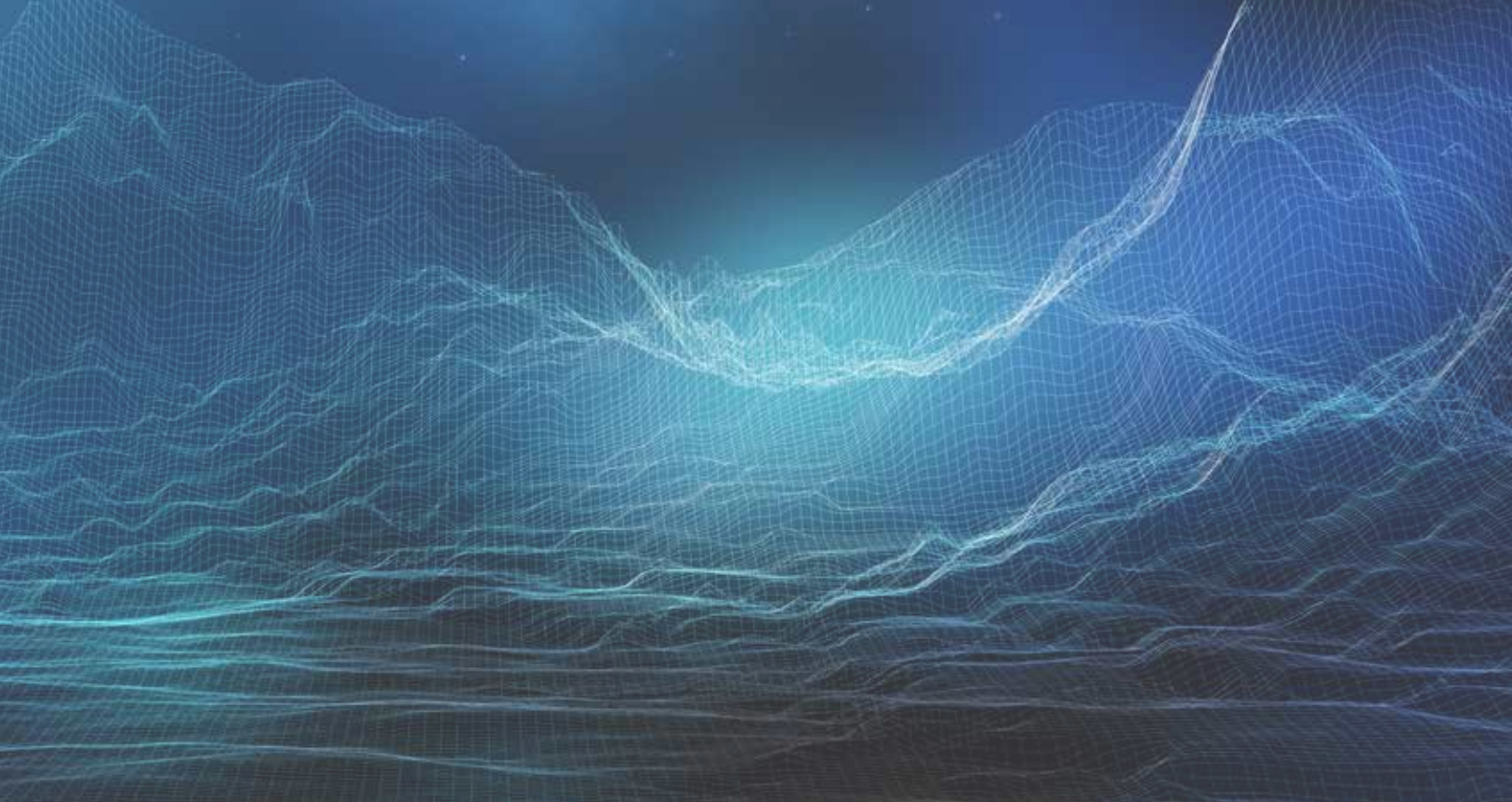
## NOTA DEL EDITOR

### **Arturo Alarcón**

Las tecnologías digitales han estado presentes en el sector eléctrico desde su creación, debido a su naturaleza de alto nivel tecnológico. Los sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (conocidos como SCADA) han sido comunes en los sistemas eléctricos desde hace décadas. Del mismo modo, el uso de modelos informáticos avanzados para la planificación, el dimensionamiento y la simulación de sistemas de generación, transmisión y distribución es una aplicación comercial típica de la tecnología en el sector.

No obstante, a pesar de la fuerte familiaridad de este sector con la "digitalización", la nueva ola de la innovación (la denominada "revolución industrial 4.0") promete traer cambios profundos en la forma en que construimos, diseñamos, operamos y mantenemos nuestros sistemas eléctricos, ya que irá mucho más allá del simple uso de modelos informáticos y sistemas SCADA aislados. Existen cuatro factores principales que cambiaron en los últimos años: (i) el aumento de la capacidad informática de los procesadores comerciales (que pasó de menos de 1 MHz en la década de 1970 a más de 4 GHz en 2019); (ii) la reducción del costo de estos procesadores; (iii) el aumento de la capacidad de las redes de comunicación, que permiten que los procesadores y los sistemas digitales se combinen entre sí, incluso de forma remota, y multipliquen exponencialmente la capacidad de procesamiento; y (iv) el desarrollo de nuevos algoritmos para el análisis y la gestión de datos (incluido lo que ahora se conoce como "big data" e "inteligencia artificial").





Estos factores han creado las condiciones ideales para un crecimiento exponencial en el número y la capacidad de las aplicaciones de la digitalización, lo que a su vez ofrece inmensas posibilidades dentro del sector eléctrico.

Las nuevas posibilidades no son triviales para América Latina y el Caribe (ALC), especialmente cuando se considera el sector hidroeléctrico, que proporciona aproximadamente la mitad de la electricidad de esta región y es la principal fuente de generación eléctrica en muchos países. Muchas de estas centrales hidroeléctricas se instalaron hace varias décadas, y la digitalización será un elemento esencial para rehabilitarlas, modernizarlas y mantenerlas como parte de una matriz eléctrica sostenible y segura. Sin embargo, el tema aún no se ha explorado ni se ha explotado ampliamente en la región. Es por ello que, a principios de 2019, el BID encargó esta nota técnica a Pöyry con la finalidad de presentar una revisión y un debate del carácter actual sobre la digitalización en el sector hidroeléctrico latinoamericano.


La nota comienza con una descripción del punto en el que se encuentra ALC en términos de digitalización en general. Luego, explora la relevancia de la digitalización para la industria hidroeléctrica en la región. Se presentan cuatro estudios de casos que permiten explorar, a partir de experiencias de primera mano, cómo se aplica la digitalización en el sector e identificar algunos de los beneficios clave. Este análisis también permite explorar las barreras clave para la digitalización y presentar algunas

recomendaciones para su mayor desarrollo en la región. Finalmente, se presentan algunas conclusiones clave.

Vale la pena mencionar que la presente nota no pretende abarcar todo ni incluir todos los aspectos relacionados con la digitalización ni servir como guía técnica para los desarrolladores de proyectos. Específicamente, el objetivo principal de la nota es presentar una descripción general actual de la digitalización de la energía hidroeléctrica en ALC, con una visión general de algunas tecnologías y estudios de casos reales, para crear un debate sobre los beneficios clave que la digitalización puede aportar al sector hidroeléctrico en la región y para identificar algunas barreras clave que los organismos regulatorios y los formuladores de políticas deberían abordar.

Este es un tema que avanza rápidamente, y algunas de las tecnologías tratadas en esta nota podrían trasladarse rápidamente hacia nuevos desarrollos y aplicaciones. No obstante, el debate general sobre cómo se puede implementar la digitalización y la identificación de las barreras que deben abordarse podrían seguir siendo relevantes para los años venideros.

Finalmente, hay algo crucial que no debe olvidarse: el elemento humano es clave. No podemos escribir y hablar sobre soluciones digitales sin pensar en las personas, porque la tecnología solo ayudará a las personas a tomar mejores decisiones. La digitalización propone no solo la



adopción de nuevas tecnologías, sino la necesidad de modernizar las estructuras organizativas. La capacidad de nuestros países y nuestras organizaciones para adaptarse y, aún más, para ser proactivos en esta nueva era será esencial para garantizar que no se queden atrás.

## RESUMEN EJECUTIVO

La digitalización está transformando las economías de todo el mundo y ya influye en el crecimiento económico; además, tiene un impacto positivo directo, lo que contribuye a un aumento del PIB del orden del 20 % al 40 %. El enorme potencial de la digitalización también beneficiará al sector energético en términos de mayor productividad y eficiencia y menores costos de operación y mantenimiento. En términos generales, la “digitalización” se puede definir como el uso de tecnologías digitales (sensores, dispositivos conectados, equipos de red, infraestructura y sistemas) para aumentar la eficiencia o cambiar el modelo comercial subyacente mediante la creación de nuevas fuentes de ingresos.

Los países de ALC están posicionados en un nivel intermedio con respecto a otras regiones del mundo en términos de desarrollo digital. Sin embargo, según un estudio reciente, casi la mitad de los 24 mercados estudiados en ALC están experimentando un crecimiento digital en los últimos años, pero no todos ellos están creciendo digitalmente al mismo ritmo. Chile, Costa Rica, Uruguay, México y Colombia son los líderes, con un mayor “índice de evolución digital” (se explica más adelante en este documento), tanto en la evolución digital como en su tasa de progreso, es decir, el impulso digital. Por el contrario, El Salvador, Barbados y Venezuela todavía se mueven lentamente o presentan disminuciones debido a sus entornos político y social. La falta de infraestructura, las tecnologías no disponibles, la reducción de los presupuestos públicos, el aumento de la burocracia y los usuarios finales inexpertos debido a una conexión a Internet deficiente o nula son los factores principales que contribuyen al ritmo lento de los desarrollos digitales en las economías de ALC, en comparación con otras regiones del mundo.

En el sector eléctrico, la digitalización agrega un valor


innegable a los objetivos ambientales y de seguridad, con un impacto indirecto en los beneficios financieros con respecto a costos reducidos o evitados. En el aspecto comercial, los beneficios inmediatos de la digitalización pueden resumirse en la reducción de los costos de operación y mantenimiento; la mejora de la central eléctrica y la eficiencia de la red; la capacidad para coordinar el mantenimiento futuro con el valor futuro de la energía y los datos meteorológicos e hidrológicos; la reducción de cortes de energía y tiempos de inactividad no planificados; y la extensión de la vida operativa de los activos. Por consiguiente, estas acciones en su conjunto aumentan las ganancias de una inversión en una central eléctrica.

Hoy en día, la energía hidroeléctrica en ALC representa más de la mitad de la producción de energía eléctrica en la región. En 2017, la capacidad instalada total de energía hidroeléctrica alcanzó casi los 187 GW, lo que representa el 45 % de la capacidad instalada total en la región. En la mayoría de los países de ALC, los generadores de electricidad privados, principalmente vinculados a empresas europeas y estadounidenses, y que representan la mayor parte de los mercados de electricidad, se encuentran implementando las lecciones aprendidas de la digitalización en la energía hidroeléctrica de sus países de origen en los mercados locales con el respaldo de capital local y extranjero. Para las instalaciones contemporáneas, los sistemas SCADA representan un requisito de diseño estándar que permite la implementación de futuras tecnologías digitales y la comunicación con cada parte de la central. La operación centralizada desde un solo centro de control de operaciones es uno de los principales objetivos para la digitalización de la energía hidroeléctrica en ALC. Para ello, se toman en cuenta la actualización y la modernización de las centrales más antiguas.

Esto también fue confirmado a través de las entrevistas a clientes de Pöyry realizadas con generadores de energía hidroeléctrica en Chile, México y Perú, donde las iniciativas digitales ya están implementadas, pero con el enfoque principal en la operación centralizada y en las actividades mejoradas de operación y mantenimiento. Como resultado, debe observarse que, además de

---

1. Consulte las referencias en la sección 1



las barreras que provienen de regulaciones rígidas, el capital humano y el número insuficiente de personal con formación en el campo de la digitalización no se consideran un obstáculo para seguir evolucionando en el desarrollo digital. No obstante, en algunos casos, la automatización puede causar la reducción de personal en algunas centrales, si este personal no está capacitado para realizar otras tareas.

Maximizar los beneficios de la digitalización requiere la eliminación (o al menos la reducción) de los diferentes tipos de barreras a nivel nacional; es decir, se debe garantizar que haya suficiente infraestructura, un diseño de mercado eficiente y un sistema educativo de punta que pueda educar a profesionales equipados con las habilidades requeridas; se deben eliminar las barreras a nivel de la empresa y garantizar la preparación digital a través de una gestión eficiente del cambio; y se deben presentar incentivos regulatorios.

### **A manera de resumen, se puede llegar a la siguiente conclusión respecto de la digitalización en la energía hidroeléctrica en la región de ALC:**

■ El desarrollo de la digitalización en los países de ALC no es homogéneo y todavía está rezagado si se compara con Europa y Estados Unidos. Los países líderes de la región en lo que a esto respecta son Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Costa Rica.

■ Si se consideran la infraestructura, el capital humano y el marco legal como factores principales para el desarrollo digital, Chile se encuentra liderando el camino hacia la digitalización. La mayoría de los países dentro de la región de ALC necesitarán acelerar sus esfuerzos para mantenerse a la vanguardia de la ola digital en rápido movimiento y de sus beneficios.

■ La región de ALC muestra niveles bajos de inversión en innovación para promover la digitalización a nivel público y privado. Debido a los presupuestos limitados y la tendencia hacia procesos burocráticos en todos los

niveles estatales, la digitalización en el sector privado está creciendo más rápido que en el sector público.

■ La energía hidroeléctrica seguirá desempeñando un papel importante en la generación de energía en las próximas décadas en la región de ALC. Por lo tanto, la adopción de tecnologías digitales traerá nuevas oportunidades para su mejora en términos de procesos de toma de decisiones a fin de optimizar el costo de funcionamiento, prevenir cortes de energía forzados y desarrollar tecnologías mejoradas para renovar y modernizar centrales antiguas.

■ En particular, la energía hidroeléctrica se ha convertido en un facilitador para el despliegue de la generación de energía renovable no convencional, ya que proporciona flexibilidad y capacidades de almacenamiento. La digitalización de las centrales hidroeléctricas más antiguas será necesaria para mejorar el funcionamiento de la energía hidroeléctrica con otras tecnologías variables, lo que a su vez mejorará la seguridad y la eficiencia del sistema.

■ La gama de aplicaciones de tecnologías digitales en el sector hidroeléctrico abarca todo el ciclo de vida de la central hidroeléctrica (planificación y diseño, construcción, operación y mantenimiento) para cumplir objetivos de alto nivel (con respecto a la seguridad, la sostenibilidad y el aspecto comercial).

■ En general, en la región de ALC, el principal problema para la digitalización de la energía hidroeléctrica es la operación centralizada a través del sistema SCADA. Sin embargo, ya existen diferentes operadores de energía hidroeléctrica en el sector energético de ALC, que, además de la implementación de sistemas SCADA, también están implementando diferentes iniciativas de digitalización relacionadas con la seguridad operativa, herramientas digitales en el sector B2C, así como iniciativas digitales que mejoran los procesos internos (por ejemplo, en departamentos legales y de adquisiciones) para mantener la competitividad en el cambiante mercado de la electricidad.



# 1. DIGITALIZACIÓN

La digitalización está transformando las economías de todo el mundo y ya tiene un efecto en el crecimiento económico. Entre un amplio número de publicaciones, un estudio<sup>2</sup> menciona que un aumento del 10 % en la digitalización produciría un aumento en el PIB del 0,50 % al 0,62 %. De ser así, los 150 países estudiados pasarían de un nivel limitado de desarrollo digital a uno avanzado. El mismo estudio mostró que desde 2007 hasta 2010 se observó un crecimiento del PIB del 45 % en estos países investigados gracias a la digitalización. En el caso particular de México, otro estudio<sup>3</sup> prevé un crecimiento del PIB de hasta el 15 % en 2025 con respecto a 2018 si el país logra una calificación de madurez digital de "buena" a "muy buena"<sup>4</sup>. El enorme potencial de la digitalización también beneficiará al sector energético en términos de mayor productividad y eficiencia y menores costos de operación y mantenimiento. La Agencia Internacional de Energía (AIE)<sup>5</sup> estima que la digitalización dentro del sector energético supone la posibilidad de ahorrar aproximadamente USD 80 000 millones por año, o alrededor del 5 % de los costos totales anuales de generación eléctrica en todo el mundo, si se tiene en cuenta el diseño actual del sistema y si se adopta un mejor despliegue de las tecnologías digitales disponibles para todas las centrales eléctricas e infraestructuras de red a nivel mundial. La digitalización también desempeña un papel importante en el logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), especialmente el ODS 7, que es "Energía limpia y asequible"<sup>6</sup>. En general, y resumiendo brevemente la bibliografía actual, la digitalización definitivamente desempeñará un papel importante en los próximos años en todo el mundo y tendrá un impacto económico positivo en casi todos los sectores empresariales, entre ellos, el negocio de la energía.

---

2. Maximización del impacto de la digitalización (Booz & Company, 2012)

3. Cómo México puede convertirse en la potencia del gobierno digital de América Latina (McKinsey & Company, 2018)

4. Para evaluar la madurez digital de 151 países, McKinsey utilizó 26 indicadores disponibles públicamente (como los de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, las Naciones Unidas y el Banco Mundial) para analizar cuatro dimensiones clave de la estrategia digital de un gobierno: fundaciones digitales, gobierno, economía y sociedad. Los cortes entre los diferentes niveles del índice de madurez digital se determinaron de acuerdo con la distribución de los resultados de todos los países de "ingresos altos" e "ingresos medios altos" (por ejemplo, Colombia), en función de la clasificación del Banco Mundial. El corte de "muy bueno" corresponde a puntajes entre 1 y 2 desviaciones estándar por encima del promedio simple ( $91 > x > 74$ ); "bueno" a puntajes entre el promedio simple y 1 desviación estándar por encima del promedio simple ( $74 > x > 57$ ); "aceptable" para puntajes entre el promedio simple y 1 desviación estándar por debajo del promedio simple ( $57 > x > 40$ ); y "deficiente" para puntajes de 1 desviación estándar por debajo del promedio simple ( $x < 40$ ). El índice excluyó 2 subdimensiones del marco (ciudadanos informados y uso de análisis avanzados en el gobierno) debido a la falta de datos para medirlos.

5. Digitalización y Energía, Agencia Internacional de Energía (AIE), 2018

6. El impacto de la infraestructura digital en los objetivos de desarrollo sostenible (BID, 2019)



# 1.1

## ¿QUÉ ES LA DIGITALIZACIÓN?

En términos generales, la "digitalización" se puede definir como el uso de tecnologías digitales (sensores, dispositivos conectados, equipos de red, infraestructura y sistemas) para reducir los costos o cambiar el modelo comercial subyacente mediante la creación de nuevas fuentes de ingresos. Estas tecnologías se pueden agrupar en tres categorías, como se muestra en la figura 1:

- Acceso a nuevas fuentes de datos y comunicaciones
- Sistemas de apoyo de las decisiones basados en herramientas mejoradas de análisis y visualización
- Automatización y control

Figura 1: ¿Qué es la digitalización?

Fuente: Pöyry Management Consulting

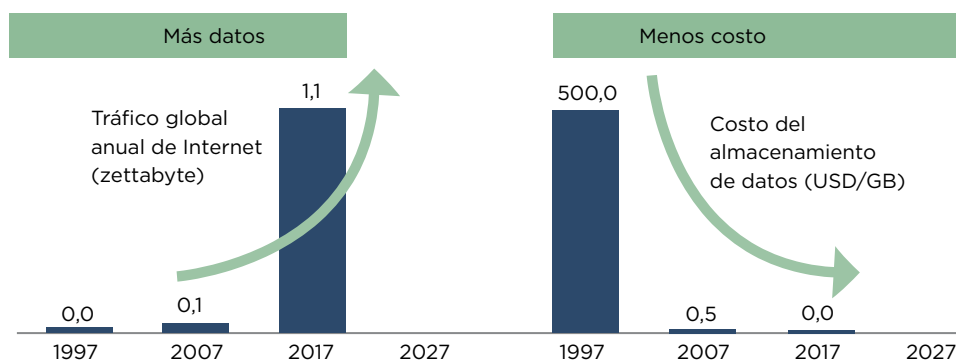


Muchas de estas "tecnologías digitales" mencionadas anteriormente no son nuevas. La mayor parte de la fuerza laboral actual comenzó a trabajar en la era de las computadoras de escritorio, y la información y el procesamiento de carácter digital se han masificado desde hace varias décadas. La próxima ola de digitalización se diferencia del uso habitual de las tecnologías digitales que existen hasta la fecha en la expansión rápida de los avances tecnológicos y los datos asociados, impulsados por el colapso de los costos de almacenamiento de datos, las tecnologías de sensores y de comunicaciones, así como por el aumento de la potencia de procesamiento y los nuevos enfoques de análisis y gestión de datos, por ejemplo, el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo o la inteligencia artificial (IA). Esta IA permite que los proyectos de digitalización evolucionen desde simplemente automatizar tareas laboriosas hasta permitir la toma de decisiones avanzadas, que pueden superar el análisis y el control humano, lo que finalmente conduce a nuevos modelos de negocio y nuevas fuentes de valor.

La figura 2 ilustra el cambio acelerado mediante el uso de algunos ejemplos cotidianos: el tráfico global anual de Internet superó el umbral exabyte en 2001 y superó el umbral zettabyte en 2017<sup>7</sup>, mientras que durante el mismo período el costo de los discos duros se ha reducido a la mitad aproximadamente cada 14 meses. En los últimos cinco años, las suscripciones globales de banda ancha móvil se triplicaron y superaron las 4000 millones de suscripciones activas. Ahora hay más suscripciones a teléfonos móviles (8000 millones) que personas en el mundo. La función exponencial de Internet ahora se está trasladando de las personas a las cosas (por ejemplo, sensores, widgets, cámaras y plataformas), que están conectadas a través de algoritmos, personas y otras cosas. Estos desarrollos han permitido que los proyectos de digitalización evolucionen desde la simple automatización de tareas laboriosas hasta la toma de decisiones y los controles de carácter avanzado que finalmente conducen a nuevos modelos de negocios y nuevas fuentes de valor.

Figura 2: La digitalización está siendo impulsada por una expansión rápida de nuevas tecnologías con la capacidad de generar más datos a costos unitarios cada vez menores

Fuente: Pöyry Management Consulting con datos de la AIE respecto del tráfico de Internet y de Internet Archive/Blackbaze respecto de los costos de discos duros



7. Digitalización y Energía 2017, AIE.

Figura 3: Los cuatro impulsores de la evolución digital

Fuente: Fletcher School, Tufts University. Julio de 2017. "Digital Planet 2017,

How Competitiveness and Trust in Digital Economies vary across the World" (Cómo la competitividad y la confianza en las economías digitales varían en todo el mundo)



Según la investigación de Fletcher School<sup>8</sup>, básicamente se definieron cuatro impulsores que rigen la digitalización de un país: las condiciones de suministro, las condiciones de la demanda, el entorno institucional, y la innovación y el cambio con el objetivo de calcular un índice de evolución digital (DEI, por sus siglas en inglés) para obtener una visión integral del nivel de preparación y la competitividad digital de los países de la región de ALC. Si bien los elementos clave de los cuatro impulsores se detallan en la figura 3, el marco de análisis para el DEI se describe en mayor detalle en el documento fuente, mientras que los resultados de esta encuesta se muestran en la figura 4.

## 1.2

### LA DIGITALIZACIÓN EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (ALC)

Según el índice del observatorio del desarrollo del ecosistema digital del Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) informado en 2015, los países de ALC con un índice de desarrollo promedio de 45,47 están posicionados en un nivel intermedio con respecto a otras regiones del mundo; por ejemplo, EE. UU. y Canadá alcanzaron un promedio de 74,4<sup>9</sup> (consulte el Anexo I para obtener una explicación detallada del índice).

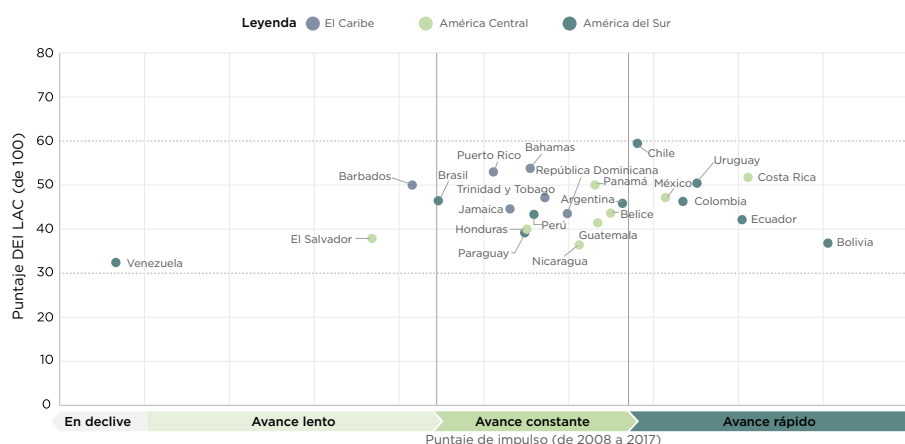
8. Fletcher School, Tufts University. Julio de 2017. "Digital Planet 2017, How Competitiveness and Trust in Digital Economies vary across the World" (Cómo la competitividad y la confianza en las economías digitales varían en todo el mundo)

9. Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: El Observatorio CAF del Ecosistema Digital (CAF, 2017)

Las encuestas y las publicaciones recientes que hablan sobre el estado digital en la región de América Latina y el Caribe son, en general, congruentes en sus resultados, aunque los índices aplicados para medir la evolución y el desarrollo de la digitalización se calculan de diferentes maneras, lo que podría no ser comparable si se profundiza y se habla sobre un sector empresarial especial. Un estudio reciente realizado por Fletcher School, basado en 99 indicadores únicos durante un período de diez años (de 2008 a 2017), reveló que casi la mitad de los 24 países de ALC estudiados están experimentando un crecimiento digital acelerado. Sin embargo, no todos los países están creciendo digitalmente al mismo ritmo. Chile, Costa Rica, Uruguay, México y Colombia son los líderes, con un mayor "índice de evolución digital", tanto en la evolución digital como en su tasa de progreso, es decir, el impulso digital<sup>10</sup>. Solo Venezuela, El Salvador y Barbados todavía se mueven lentamente o presentan disminuciones debido a sus entornos político y social (consulte la figura 3). Estos resultados recientes también confirman los resultados de CAF<sup>11</sup> desde 2015, que declaró que los países líderes en el contexto de la digitalización son Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Costa Rica, mientras que Perú, Paraguay y Bolivia se encontraban entre los países menos avanzados con un desarrollo de digitalización limitado en 2015. Por lo tanto, la mayoría de los países bastante limitados en 2015 mostraron un mayor progreso en los últimos 3 años y cambiaron de "limitados" a "en avance constante". Esto demuestra que la evolución en la digitalización es bastante rápida y los resultados pueden cambiar rápidamente de un año a otro. Estos impulsores también son válidos cuando se habla de los mercados energéticos.

Figura 4: El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe (DEI LAC)

Fuente: El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe, The Fletcher School, Tuft University. Noviembre de 2018



Entre los principales factores para la digitalización o el desarrollo digital, se encuentran la infraestructura, el capital humano y el marco legal.

Con respecto a la infraestructura, la variable más importante es la conexión disponible a Internet, es decir, la conectividad. En este sentido, Chile lidera la implementación de conexiones a Internet de alta velocidad, lo que respalda su buen desempeño en la evolución digital<sup>12</sup>.

Además del entorno físico básico, el capital humano, que se refiere a las destrezas de los trabajadores para impulsar la transformación digital, la innovación, las patentes y las nuevas empresas, que a su vez requieren una educación y capacitación adecuadas, desempeña un papel importante en el contexto de la evolución digital de sector energético. En términos educativos, ALC ha tenido una mejora significativa entre 2004 y 2015 con un

10. El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe, The Fletcher School, Tuft University. Noviembre de 2018

11. Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: El Observatorio CAF del Ecosistema Digital (CAF, 2017)

12. DataReportal: <https://datareportal.com/reports/digital-2019-global-digital-overview>

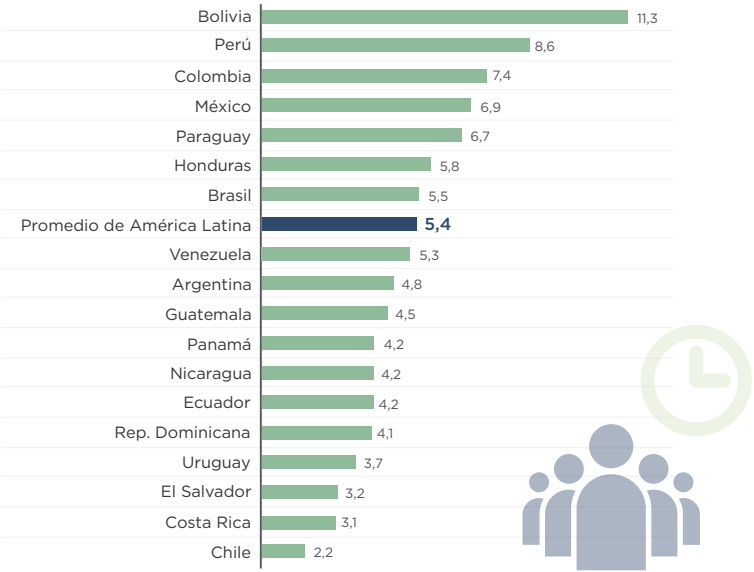
número cada vez mayor de estudiantes universitarios en áreas digitales y un número creciente de computadoras en las escuelas por estudiante<sup>13</sup>. Sin embargo, en términos del porcentaje del PIB gastado en I+D en ALC frente a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ALC está muy rezagado con el 0,69 %; en comparación con el 2,17 % en los países de la OCDE en 2015. Con respecto a las carreras que promueven la transformación digital, como la ingeniería, la ciencia y la construcción en ALC, solo 943 de un total de 1 000 000 de habitantes se encuentran estudiando en estos campos; mientras que los números para los países de Asia-Pacífico y de la OCDE son casi tres (3) veces más altos. Entre los países de ALC, solo Chile y Colombia (casi) alcanzan este nivel.

Los marcos institucionales y regulatorios son esenciales para facilitar el desarrollo de las industrias digitales, así como para la promoción de la conectividad. En este sentido, Chile debe considerarse como un ejemplo líder en la región de ALC, ya que el año pasado se establecieron nuevos marcos innovadores que abren varias posibilidades para las industrias digitales. En la mayoría de las otras regiones de ALC, existen marcos rígidos con posibilidades limitadas para reaccionar ante un mundo digital en rápido movimiento; por ejemplo, procedimientos tediosos para aprobar cambios o modernizaciones, que llevan bastante tiempo en comparación con el sector privado y, por lo tanto, dificultan la implementación de aplicaciones digitales.

Como se puede ver en la figura 5, Chile como líder en digitalización en ALC, también se destaca en lo que respecta a procedimientos ágiles dentro de las autoridades. Esto se debe a que varios procesos ya están funcionando a través de plataformas de Internet y aplicaciones móviles; como tal, el desarrollo ha sido impulsado explícitamente por las leyes correspondientes (Ley de Digitalización y Ley de Transformación Digital). Además, los procesos internos gubernamentales también se han incorporado en un entorno digital. Todos estos esfuerzos conducen a una respuesta más ágil y tiempos de reacción más cortos.

Figura 5: Promedio de horas dedicadas a procesos con autoridades

Fuente: BID: <https://cloud.mail.iadb.org/tramites#el-problema-con-los-tramites>



En términos de inversión pública y privada para promover la innovación, la producción de innovación local y el desarrollo económico en la región de ALC muestra niveles bajos<sup>14</sup>. En general, la digitalización en el sector privado está creciendo más rápido que en el sector público debido al presupuesto limitado y la tendencia hacia procesos burocráticos en todos los niveles estatales<sup>15</sup>.

13. Capital humano para la transformación digital en América Latina (Katz, Raúl L; 2018)

14. Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: El Observatorio CAF del Ecosistema Digital (CAF, 2017)

15. The economic contribution of broadband, digitization and ICT regulation (La contribución económica de la banda ancha, la digitalización y la regulación de las TIC), ITU 2018



## 1.3

### LA DIGITALIZACIÓN EN LOS MERCADOS ENERGÉTICOS DE ALC

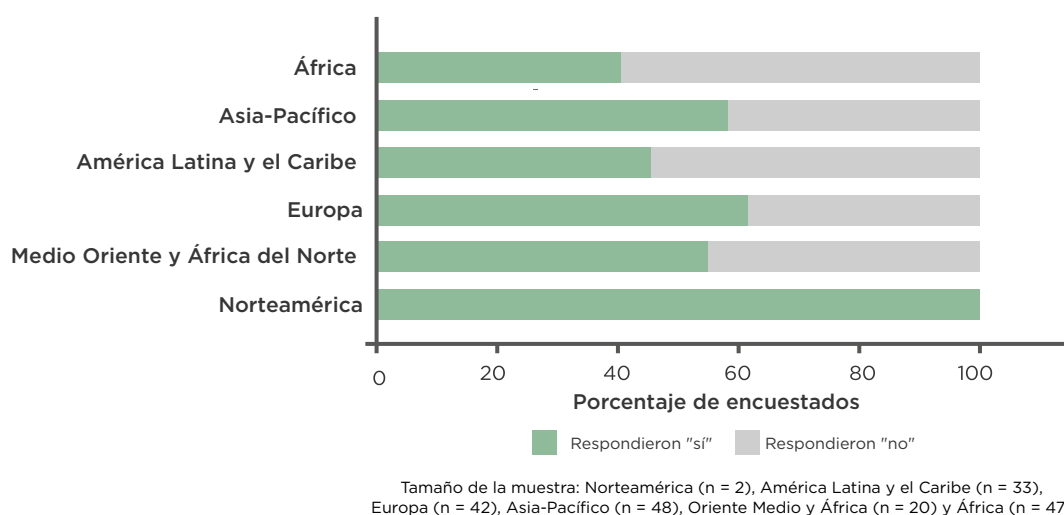
En el contexto de la digitalización, el nivel de desarrollo de un estado y de una sociedad en términos de economía, preparación digital y condiciones de límites desempeña un papel importante en el fomento de la digitalización de sus industrias. En cualquier caso, la aplicación de tecnologías digitales en el negocio de la energía busca una mayor eficiencia de costos, mayores ganancias, mayor seguridad, mayor eficiencia de recursos, así como una optimización general de la cadena de valor hasta el cliente final. Esto también es válido para la región de Latinoamérica y el Caribe, pero esta región hace un enorme esfuerzo debido a los desarrollos bastante lentos indicados en la sección anterior.

La falta de infraestructura, las tecnologías no disponibles, la reducción de los presupuestos públicos, el aumento de la burocracia y los usuarios finales inexpertos debido a una conexión a Internet deficiente o nula son los factores principales que contribuyen al ritmo lento de los desarrollos digitales en los mercados energéticos de ALC, en comparación con otras regiones del mundo. En general, el costo de las tecnologías digitales no se ha identificado como una barrera, aunque la rentabilidad de estas tecnologías se considera un aspecto clave para su implementación.

Una medida de las buenas prácticas y la transparencia es la capacidad de las empresas de servicios públicos (o del gobierno) de compartir datos en tiempo real sobre la demanda, el suministro y los cortes de energía. La Encuesta de Gobierno Electrónico de las Naciones Unidas de 2018 (figura 6) muestra que ALC está considerablemente por detrás de Europa y Norteamérica en términos de compartir datos en tiempo real sobre cortes de energía, como un indicador del nivel de conectividad dentro del sector.

Figura 6: Porcentaje de países con sitios web gubernamentales que comparten actualizaciones e información sobre cortes de electricidad o de energía

Fuente: ENCUESTA DE GOBIERNO ELECTRÓNICO DE LAS NACIONES UNIDAS DE 2018



16. McKinsey (2016): "The digital utility: New opportunities and challenges" (El servicio público digital: nuevas oportunidades y desafíos)

De acuerdo con el resultado de la "Iniciativa de transformación digital" presentada en el Foro Económico Mundial, existen básicamente siete tecnologías clave principales que se están transformando y producen los impactos más importantes en la industria energética, como se muestra en la figura 5. La mayoría de estas tecnologías se aplican a la gestión del ciclo de vida de los activos, la optimización de la red eléctrica y su agregación y los servicios integrados al cliente. Al aplicar estas nuevas tecnologías digitales, el servicio público digital del futuro capturará oportunidades a lo largo de la cadena de valor (consulte la figura 6)<sup>16</sup>. Sin embargo, la implementación exitosa dependerá de la expansión de la infraestructura (comunicación de banda ancha, capacidad del usuario final, etc.), así como de la participación de los usuarios finales para aprovechar estos nuevos servicios.

Figura 7: Las tecnologías digitales más importantes que influyen en la industria energética

Fuente: Pöyry Management Consulting



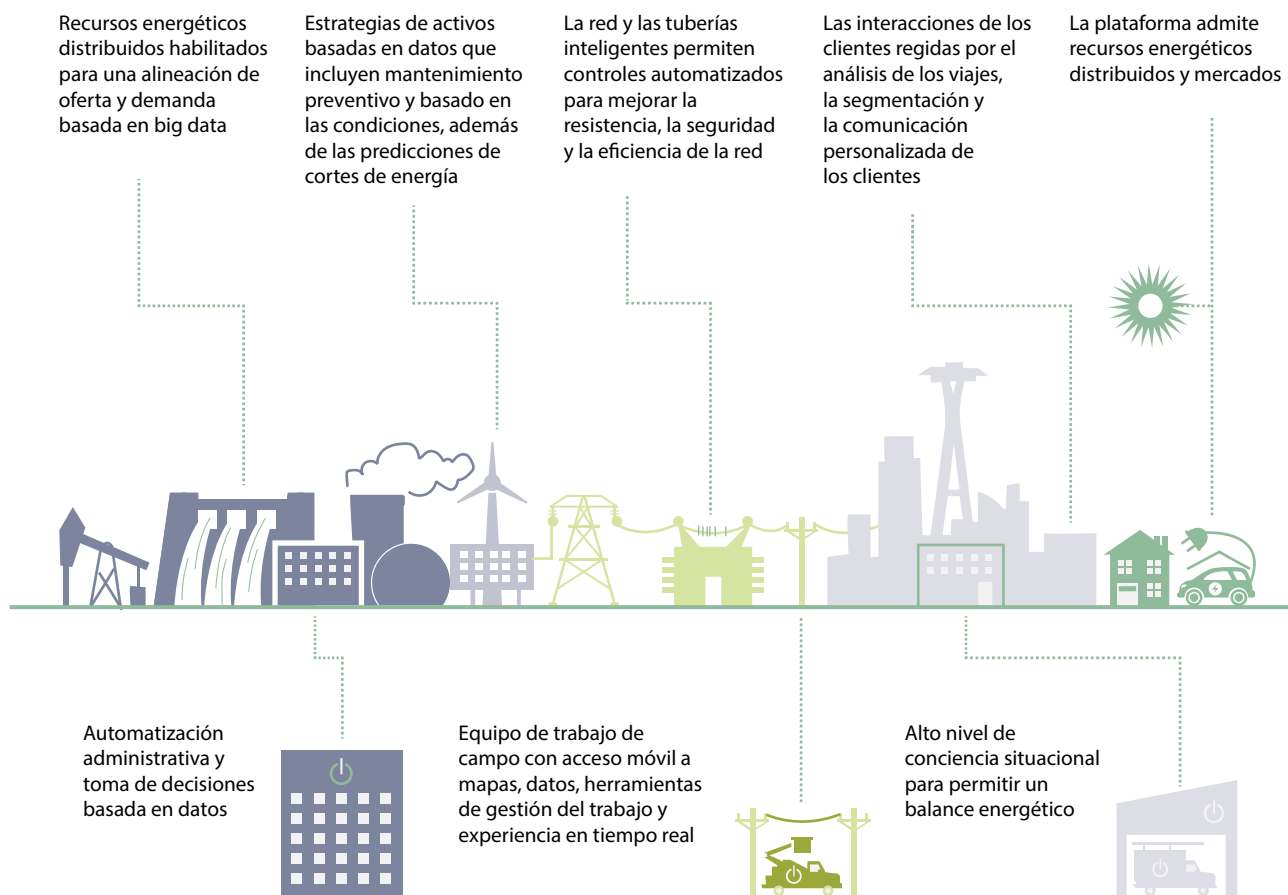
A pesar del progreso bastante lento en el desarrollo digital como se indicó en la sección anterior, hay varios ejemplos positivos de iniciativas digitales en ALC:

- En Perú, el organismo regulador de la red eléctrica privado, sin fines de lucro y con derecho público, llamado Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES), desarrolló una aplicación de teléfono móvil que comparte datos en tiempo real sobre la demanda, precios de la generación eléctrica y fallas en el sistema de una forma totalmente transparente.
- También existen plataformas de información similares como la proporcionada por el Coordinador Eléctrico Nacional (CEN) de Chile.
- Se están llevando a cabo varias iniciativas digitales en la región de ALC, principalmente en el contexto de la medición inteligente, la eficiencia energética y las ciudades inteligentes (consulte el anexo IV), que representan ejemplos positivos para futuras inversiones en infraestructura y, por lo tanto, permiten desarrollos adicionales en el mercado de generación de electricidad.
- Además, y de acuerdo con la experiencia de Pöyry Energy Business Group, más de las tres cuartas partes de las empresas eléctricas de ALC son conscientes de la tendencia creciente hacia la digitalización en el sector hidroeléctrico, y ya están implementando soluciones digitales en sus negocios cotidianos.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que, a pesar de estas iniciativas e implementaciones digitales positivas en el lado de la generación, la incorporación de usuarios finales a través de aplicaciones de teléfonos inteligentes que les permitan seleccionar su combinación de energía o monitorear su consumo a través de la medición inteligente es algo que no se prevé que esté disponible ni se implemente durante los próximos años debido a la falta de infraestructura adecuada.

Figura 8: El servicio público digital del futuro

Fuente: McKinsey (2016): "The digital utility: New opportunities and challenges" (El servicio público digital: nuevas oportunidades y desafíos)



The background of the slide is a composite image. The upper portion features a deep blue sky with soft, white and light blue clouds. A bright light source, possibly the sun or moon, is visible in the top right corner, creating a lens flare effect. The lower portion of the image shows a stylized, glowing wireframe mountain range in shades of cyan and blue, set against a dark, starry space background. The mountains are composed of a grid of lines that create a three-dimensional effect.

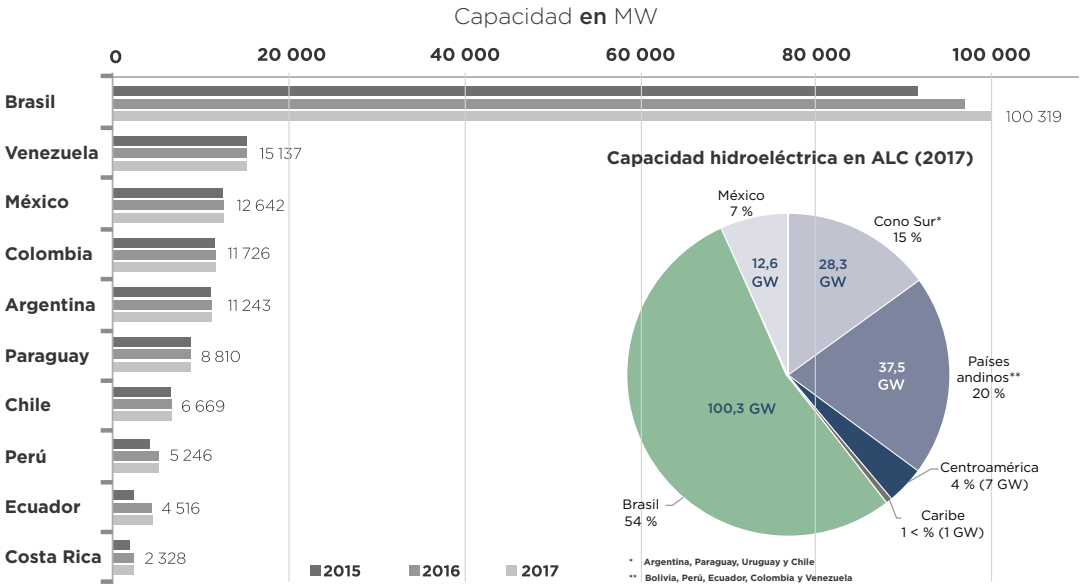
## 2. LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ALC

Según una encuesta de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) entre las principales partes interesadas en el sector energético en los países de ALC, la energía hidroeléctrica ciertamente desempeñará un papel de liderazgo en la generación eléctrica en los próximos 20 años<sup>17</sup> en la región de ALC.

Según la última revisión de la base de datos de energía de OLADE, la generación de energía hidroeléctrica representa más de la mitad de la producción de energía eléctrica en Latinoamérica y el Caribe (ALC). En 2017, la capacidad instalada total de energía hidroeléctrica alcanzó casi los 186 GW, lo que representa el 45 % de la capacidad instalada total en la región. Según el último informe de IHA<sup>18</sup>, se informa una capacidad instalada total de aproximadamente 190,7 GW, lo que significa que en 2018 se instalaron casi 5 GW de nuevas instalaciones hidroeléctricas en la región.

Figura 9: Capacidad total de energía hidroeléctrica en ALC: los 10 países principales

Fuente: Pöry Energy Business Group con la base de datos de OLADE



17. Barómetro de la Energía de América Latina y el Caribe (2018). Las perspectivas del desarrollo del sector energético en la región, Olade (2018)

18. IHA: informe del estado de la energía hidroeléctrica de 2019. Tendencias y perspectivas del sector



El desarrollo de la energía hidroeléctrica en América Latina comenzó a fines del siglo XIX, inicialmente en Brasil (1883), Guatemala (1884) y Costa Rica (1884) como países pioneros, y luego continuó en los demás países, que instalaron sus primeras centrales hidroeléctricas entre 1890 y 1900. Al principio, la energía hidroeléctrica estaba vinculada al desarrollo minero, especialmente en México, Chile, Perú y Bolivia. Al comienzo del desarrollo de la energía hidroeléctrica, la mayor parte del capital provenía de empresas extranjeras. Sin embargo, entre 1930 y 1970, la participación estatal en el financiamiento y el desarrollo aumentó significativamente con la creación de empresas estatales en toda la región, como CFE (México), ENDESA (Chile), AyE (Argentina), EPM (Colombia), ELETROBRAS (Brasil), ENDE (Bolivia) y ELECTROPERU (Perú), entre otras. Durante las décadas de 1970 y 1980, el desarrollo de la energía hidroeléctrica en ALC alcanzó su punto máximo, cuando la capacidad hidroeléctrica se quintuplicó con la instalación de más de 70 GW en solo 20 años. En las décadas de 1990 y 2000, el desarrollo continuó con la instalación de 60 GW adicionales. A pesar de la disminución en el ritmo de las inversiones en energía hidroeléctrica en la última década, debido principalmente al aumento en las inversiones en centrales de energía a gas, se espera que la generación hidroeléctrica continúe desempeñando un papel importante para satisfacer la creciente demanda en ALC. Dentro de este contexto, es importante tener en cuenta que actualmente solo se desarrolla el 25 % del potencial hidroeléctrico total, y todavía hay más de 500 GW de potencial técnico factible para explotar, principalmente en Brasil y los países andinos (Perú, Colombia, Bolivia, Venezuela y Ecuador)<sup>20</sup>.

Como se muestra en la figura 7 anterior, Brasil es el país líder en el desarrollo de energía hidroeléctrica en términos de capacidad total (es decir, capacidad instalada de 100,3 GW en 2017 y 104 GW en 2018) y el aumento anual de capacidad (es decir, 5,3 GW en 2016, 3,4 GW en 2017 y 3,8 GW en 2018).



En Brasil, la proporción de energía renovable (eólica, solar e hidroeléctrica pequeña con menos de 50 MW) ha aumentado en la combinación de generación eléctrica desde la reforma energética de 2012. Además, la participación de inversionistas privados (Engie, Enel y SPIC) en las subastas de cuatro centrales hidroeléctricas en 2017 muestra la tendencia actual hacia el liberalismo y la modernización del sector que comenzó durante el gobierno anterior<sup>21</sup>.



En Colombia, la generación de energía hidroeléctrica aumentó al 86 % de la generación total en 2017, lo que superó el promedio del 70 % de los años anteriores. El Foro Económico Mundial clasificó a Colombia en el octavo lugar en el Índice de Desempeño de Arquitectura Energética Global (EAPI, por sus siglas en inglés), que mide el desempeño de los países para brindar energía segura, asequible y sostenible, y se ha convertido en el primer país no europeo que está entre los diez primeros<sup>19</sup>.



En Chile, los recursos energéticos locales son limitados. El país depende principalmente de la hidrología y las importaciones de combustible para satisfacer la demanda de energía. Después de la "crisis del gas" de Argentina, la fuente primaria predominante para la generación de energía fue la hidroeléctrica hasta 2010. Entre 2010 y 2013, hubo un fuerte aumento en la generación de energía a carbón, lo cual cambió la combinación energética chilena. Más recientemente, ha habido un aumento considerable en la energía renovable no convencional (en comparación con los niveles de 2016, la generación eólica y solar aumentó en un 56 % y un 53 %, respectivamente, en 2017). Si bien la expansión de la energía hidroeléctrica se ha visto afectada por las sequías recientes, los conflictos entre las partes interesadas y la ya elevada implementación, el potencial para la energía solar y eólica en Chile es enorme y los inversionistas, así como el gobierno chileno, han comenzado

19. Sistema de Información Energética de Latinoamérica y el Caribe (<http://sielac.olade.org/>)

20. El sector hidroeléctrico en Latinoamérica: Desarrollo, potencial y perspectivas. Arturo D. Alarcón. p. cm. (Nota técnica del BID; 1405), 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18235/0001149>

21. Informe sobre el estado de la energía hidroeléctrica de 2018, Asociación Internacional de Energía Hidroeléctrica

a explorarlo. El Ministerio de Energía aprobó una hoja de ruta para 2050 donde el objetivo de las energías renovables dentro de la matriz energética alcanzará el 70 %. Por lo tanto, para futuros escenarios centrales hasta 2050, se espera que la mayor parte de la generación eléctrica provenga de energía renovable. Además, los combustibles fósiles y, en particular, el carbón se eliminarán por completo para 2030. Otro desafío en el panorama energético de Chile es la distribución geográfica del potencial de generación en comparación con el consumo y las complicaciones correspondientes en la red de transmisión, lo que conlleva un costo adicional y un impacto ambiental para los nuevos desarrollos. Mediante nuevas reformas en el código de derechos del agua, se mostrará cómo es posible beneficiar a los nuevos desarrollos de proyectos. La generación de energía hidroeléctrica tiene una cuota importante a corto plazo, pero el desarrollo de otras tecnologías renovables no convencionales, junto con el aumento de la demanda, reducirá esta cuota a mediano y largo plazo.



En México, desde 2017, la generación de energía hidroeléctrica es una de las principales fuentes de generación de energía, lo que representa el 80 % del suministro de energía renovable del país y el 17 % de la capacidad instalada total del país. El gobierno del país ha impuesto nuevas reformas al sector energético que permiten una igualdad de condiciones para que las empresas públicas y privadas participen en el mercado energético<sup>22</sup>.



En Paraguay, la generación de electricidad proviene 100 % de fuentes de energía renovables. Esta es generada por las centrales hidroeléctricas Itaipú de 14 000 MW, Yacyretá de 3200 MW y Acaray de 210 MW. Estas tres centrales tienen una capacidad de producción cercana a los 60 000 GWh por año. Si se compara la demanda interna de 2018 con la cantidad de energía que se genera, solo el 35 % se consume en Paraguay y el resto se exporta a Brasil y Argentina, lo que convierte a Paraguay en el cuarto mayor exportador de electricidad del mundo. Desde el punto de vista económico, en el año 2017, Paraguay exportó USD 2100 millones, lo que representa el 7,1 % de su PIB<sup>23</sup>.



En Perú, hubo una importante reforma energética entre 1992 y 1993, que abrió el mercado a inversionistas privados a través de concesiones a largo plazo para administrar el sector eléctrico de manera más eficiente, ya que la mayoría de las empresas estatales enfrentaban problemas financieros. A partir de 2017, la participación del sector privado en la generación eléctrica fue del 78 %; en la transmisión, del 100 %; y en la distribución, del 65 %. Todas las empresas están involucradas en el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES), que es responsable de una operación centralizada del sistema de red interconectado. Sin embargo, existe una brecha significativa en la eficiencia operativa entre las empresas públicas y privadas. Por ejemplo, en 2017, la frecuencia y la duración promedio de interrupciones del sistema fueron en promedio tres veces más altas para las empresas públicas que para las privadas. Según el COES, la demanda de electricidad en Perú ha crecido rápidamente junto con su economía, ya que ha aumentado en más del 79 % en los últimos diez años; en 2018 la mayor parte de la demanda de electricidad del país fue atendida por la generación de gas natural (55 %) y la energía hidroeléctrica (30 %), mientras que la tendencia actual del uso de energías renovables (principalmente solar y eólica) está aumentando. El Ministerio de Energía y Minas (MEM) prevé, para el año 2020, 360 MW de energía adicional instalada a partir de recursos de energías renovables (energía hidroeléctrica de menos de 20 MW y biomasa) con un objetivo del 15 % de la generación a partir de energía renovable. Con respecto a los planes futuros de modernización del sector, la mayoría de ellos se centran en la eficiencia energética; por ejemplo, el Ministerio de Energía y Minas actualmente cuenta con un ambicioso plan de implementación de medidores inteligentes en un plazo de 8 años y un requisito para que los operadores reinviertan el 5 % de sus ingresos en medidas de modernización y mejora de la eficiencia.

---

22. Informe sobre el estado de la energía hidroeléctrica (IHA, 2018)

23. Informe sobre el estado de la energía hidroeléctrica (IHA, 2019)

Los avances en la modernización del sector hidroeléctrico en la mayoría de los países de ALC se producen después de la apertura del mercado con la concesión o la venta de centrales que fueron administradas por empresas estatales, muchas de ellas con problemas financieros (por ejemplo, CEMIG en Brasil o la modernización de las centrales vendidas por Electroperu). Básicamente, la inversión en modernización y tecnología en ALC viene siendo desarrollada principalmente por inversores privados (actores del mercado mundial con inversiones en ALC, como Engie, Enel, CTG, SPIC, etc.), ya que la mayoría de las centrales hidroeléctricas en la región son propiedad de inversores privados. Por supuesto, esto no quita el hecho de que en algunos países, como Brasil y Colombia, sea al revés. Si se tiene en cuenta que un número notable de centrales hidroeléctricas se construyó 30 a 40 años atrás, la rehabilitación y la restauración de estas tendrá lugar en la próxima década. Aunque se construirán menos centrales nuevas en comparación a las que se construían en el pasado debido a las tecnologías en competencia (otras energías renovables y gas natural) o las preferencias sobre el rendimiento de las inversiones a corto plazo, la energía hidroeléctrica aumentará en capacidad instalada debido a las nuevas centrales y la actualización y la modernización de las instalaciones más antiguas.

De acuerdo con el BID<sup>24</sup>, se proyecta que la demanda de energía en ALC continuará creciendo a tasas altas en las próximas décadas. Se espera que la demanda de electricidad en la región de ALC se duplique, de 1550 TWh a entre 2800 y 3500 TWh, para el año 2040. Para poder satisfacer esta demanda, ALC necesitará agregar 408 GW de nueva capacidad, con una inversión estimada de USD 24 000 millones al año hasta 2040. Además, si se considera la antigüedad de algunas de las centrales eléctricas, para 2040, aproximadamente 163 GW de capacidad instalada alcanzarán su vida útil, y necesitarían ser reemplazados, con un costo adicional de USD 177 000 millones. Los requisitos de inversión podrían disminuir considerablemente en virtud de una ruta de desarrollo que destaca el uso eficiente de la infraestructura existente, las energías renovables conectadas a la red y un menú de soluciones del lado de la demanda. En este sentido, la digitalización promete aportar valores significativos al sector.

---

24. La ruta de la energía de América Latina y el Caribe (BID, 2018)



### 3. LA IMPORTANCIA DE LA DIGITALIZACIÓN PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO

La digitalización y las tecnologías innovadoras descritas en la sección anterior se emplean cada vez más en todas las fases del desarrollo de la energía hidroeléctrica, desde las decisiones de inversión, el diseño para la construcción y la operación y el mantenimiento hasta la modernización y la rehabilitación. Se pueden aplicar para satisfacer uno o más objetivos de alto nivel, que incluyen:

- Seguridad: como la integridad de las represas, la integridad del sistema y el equipo hidroeléctrico.
- Sostenibilidad: como los niveles de agua, los flujos ecológicos, los impactos del cambio climático, la calidad del agua, el manejo de los peces, etc.
- Comercial: tanto la operación a corto plazo de las centrales como las decisiones estratégicas de inversión a largo plazo, etc. Esto incluye una operación y un mantenimiento más eficientes de las centrales.

Estos objetivos podrían cumplirse mediante una variedad de proyectos de digitalización en diferentes etapas de la vida del proyecto, como se ilustra en la figura 10.

Figura 10: Posibles usos de la digitalización que podrían implementarse en el ciclo de vida de activos hidroeléctricos para cumplir objetivos clave

Fuente: Pöyry Energy Business Group





La digitalización agrega un valor innegable a los objetivos ambientales y de seguridad, con un impacto indirecto en los beneficios financieros con respecto a costos reducidos o evitados. En el aspecto comercial, los beneficios inmediatos de la digitalización pueden resumirse en la reducción de los costos de operación y mantenimiento; la mejora de la central eléctrica y la eficiencia de la red; la capacidad para coordinar el mantenimiento futuro con datos hidrológicos y el valor energético futuro; la reducción de cortes de energía y tiempos de inactividad no planificados; y la extensión de la vida operativa de los activos. Por consiguiente, estas acciones en su conjunto aumentan las ganancias de la inversión en una central eléctrica. Los beneficios de algunas de estas oportunidades se pueden resumir de la siguiente manera:

- Reducción de los costos de personal durante las fases de planificación, diseño y construcción: Los estudios de prefactibilidad remota proporcionan una disminución considerable del tiempo del personal requerido para el transporte y el tiempo en el sitio posible de construcción. Del mismo modo, el monitoreo remoto también reduce las horas de trabajo requeridas en el sitio, además de mejorar la seguridad y la calidad de los trabajos de construcción, lo que permite el acceso a zonas peligrosas (por ejemplo, inspecciones submarinas, túneles, etc.). La gestión de la fuerza laboral digital es otro medio de digitalización que optimiza este aspecto y, así, se reduce el costo del personal.

- Mejor retorno de la inversión: La digitalización proporciona una sofisticada capacidad de modelado en términos de pronóstico de la demanda y la oferta, así como en relación con diversos parámetros climáticos e impactos del cambio climático. Por lo tanto, se espera que reduzca el margen de error en la planificación y aumente el retorno de la inversión.

- Ingresos operativos optimizados: La digitalización permite el monitoreo en tiempo real y mejores capacidades de pronóstico. De esta manera, aumenta la capacidad de respuesta inmediata e incluso la adaptación automatizada de los parámetros de la central.

- Reducción de cortes de energía y tiempos de inactividad: El monitoreo en tiempo real y el aumento de las capacidades de análisis de datos hacen que los patrones de operación y mantenimiento cambien de preventivos a predictivos, lo que produce una disminución considerable de los cortes de energía forzados de la central y extiende los intervalos de mantenimiento.

- Despacho mejorado: La digitalización introdujo un cambio radical en las capacidades de pronóstico de flujos de entradas y mercado, al incorporar datos de la central (es decir, para que los modelos puedan determinar la disponibilidad a corto y mediano plazo en función del análisis de datos del sensor). Los propietarios y los operadores de centrales ahora también pueden optimizar su patrón de despacho, en coordinación con otras fuentes de energía renovable con respecto a la disponibilidad de la central, los pronósticos ambientales (flujo de entrada), la coordinación con otras centrales de energías renovables y las condiciones del mercado (es decir, los precios en diferentes mercados). Todo esto garantiza la operación segura de la central y maximiza los ingresos.

- Reducción del costo de operación y mantenimiento: Las actividades de inspección, reparación y mantenimiento se mejoran con el soporte de herramientas y servicios móviles, como los controles asistidos por máquinas. Esto a su vez conduce a una menor demanda de expertos en el campo, ya que los activos se pueden monitorear y controlar parcialmente de forma remota. Las aplicaciones mencionadas conducen a nuevas fuentes de datos, que pueden utilizarse junto con los datos existentes, para lograr una optimización superior a través del análisis y la visualización de datos.

- Aumento de la seguridad del personal operativo: Como se explicó anteriormente, los drones, los robots y los sensores se pueden usar para recopilar datos, o incluso para la reparación y el mantenimiento en zonas peligrosas, como espacios confinados o áreas submarinas. La realidad virtual también se puede aplicar para fines de capacitación del personal.

- Aumento de la seguridad: El monitoreo en tiempo real del mantenimiento predictivo de los datos de los sensores y las mejores capacidades de pronóstico de flujos de entrada aumentan la seguridad del sistema y del medioambiente, ya que proporcionan una detección temprana de fallas y su impacto; por ejemplo, se evitan

las fugas de líquido o gas y las explosiones y se obtiene una mejor gestión del agua para evitar inundaciones, entre otras cosas.

Otro beneficio muy importante de la digitalización es el valor agregado a la operación del sistema eléctrico (además del beneficio de los ingresos directos para el propietario o el operador de la central) al mejorar el uso de una generación eléctrica flexible. Ha habido un gran aumento en la generación de energía renovable (eólica y solar en particular) intermitente (o variable) en todo el mundo, lo que plantea desafíos para la confiabilidad del sistema y requiere un mejor acceso a una generación flexible para proporcionar los servicios esenciales de equilibrio y almacenamiento de energía que se requieren para mitigar el aspecto variable de las fuentes de energía renovable. Las centrales hidroeléctricas, en particular aquellas con reservorios diarios, semanales o estacionales, desempeñan un papel muy importante en este aspecto debido a su capacidad de almacenamiento.

Como se explicó anteriormente, las tecnologías digitales brindan la oportunidad de un mejor pronóstico de la generación eléctrica, lo que incluye la generación a partir de recursos eólicos o solares. En consecuencia, los operadores de centrales hidroeléctricas pueden planificar su programación a corto y mediano plazo. También deben tener en cuenta el requerimiento de generación flexible, y pueden utilizar herramientas digitales para ofrecer una mayor flexibilidad en tiempo real. Esto se traduciría en una mayor confiabilidad del sistema para el operador del sistema y mayores ingresos para el propietario o el operador de la central a partir de los mercados flexibles. Sin embargo, el orden de beneficio con respecto a la optimización para la flexibilidad a corto plazo (incluidos los servicios auxiliares) también depende del diseño del mercado energético (por ejemplo, si hay mercados en tiempo real) y de cómo se controla el despacho de las centrales (por ejemplo, un modelo de costo marginal con despacho centralizado desde la central como en Chile).

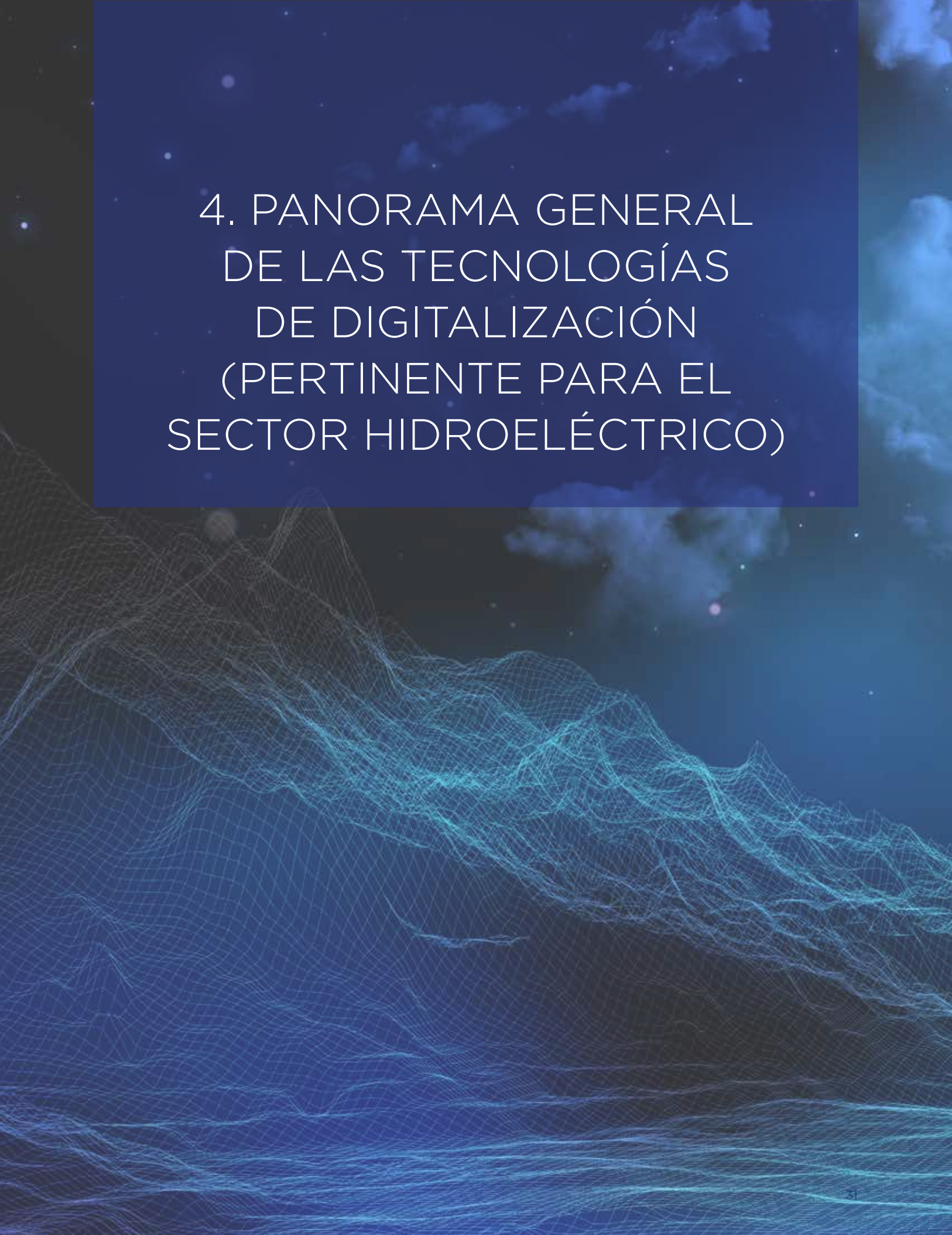
Las centrales eléctricas más antiguas han sido tradicionalmente difíciles de automatizar, ya que requerían el reemplazo de equipos mecánicos que no pueden conectarse con SCADA, así como todo el sistema SCADA. Los sensores y los dispositivos de IoT pueden operar fuera del "mundo SCADA" y, por lo tanto, pueden permitir actualizaciones parciales en centrales más antiguas, lo que ofrece una transición para una nueva actualización a SCADA si es necesario. Desde una perspectiva de planificación, las soluciones de planificación automatizadas permiten una evaluación más eficiente del potencial de rehabilitación y pueden ser más rápidas en la identificación de una solución económica adecuada para ello. Los sistemas de monitoreo y control digital son las tecnologías digitales que se emplean en la mayoría de las empresas hidroeléctricas de ALC, como se mencionó anteriormente.

No obstante, la digitalización no solo se trata de la tecnología en sí misma; debe estar respaldada por una excelente ciberseguridad y sólidos principios de transformación digital. El riesgo de la ciberseguridad surge a partir de una mayor automatización y una mayor exposición a diversas fuentes de información que impulsan las decisiones, lo que a menudo se combina con una menor participación (y supervisión) de las personas en el proceso. En conjunto, esto aumenta la vulnerabilidad a las amenazas cibernéticas, lo que significa que las empresas tienen una menor visibilidad de cuándo las cosas salen mal y, de hecho, de cómo detener los procesos si ello sucede. Además, a medida que aumenta la cantidad de activos conectados, el desafío podría ser identificar cuáles son los activos críticos. Cada sensor y cada componente que se pueden conectar a Internet deben pasar por una evaluación para evitar aumentar el riesgo en el sistema completo<sup>25</sup>. Esta creciente exposición ha llevado a algunos gobiernos a establecer departamentos para proteger la infraestructura de la red eléctrica nacional contra los ataques cibernéticos. Por ejemplo, en EE. UU., se creó la Oficina de Seguridad Cibernética, Seguridad Energética y Respuesta ante Emergencias luego de una amenaza de hackeo en 2017 dirigida a numerosas empresas eléctricas. Las grandes infraestructuras, como las centrales nucleares e hidroeléctricas, son objetivos particularmente atractivos para este tipo de delitos.

Es importante comprender que las tecnologías digitales pueden estar presentes en todas las etapas del ciclo de vida de una central hidroeléctrica. Este tema se analiza en la siguiente sección.

---

25. <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/power-and-utilities/cyber-risk-electric-power-sector.html>



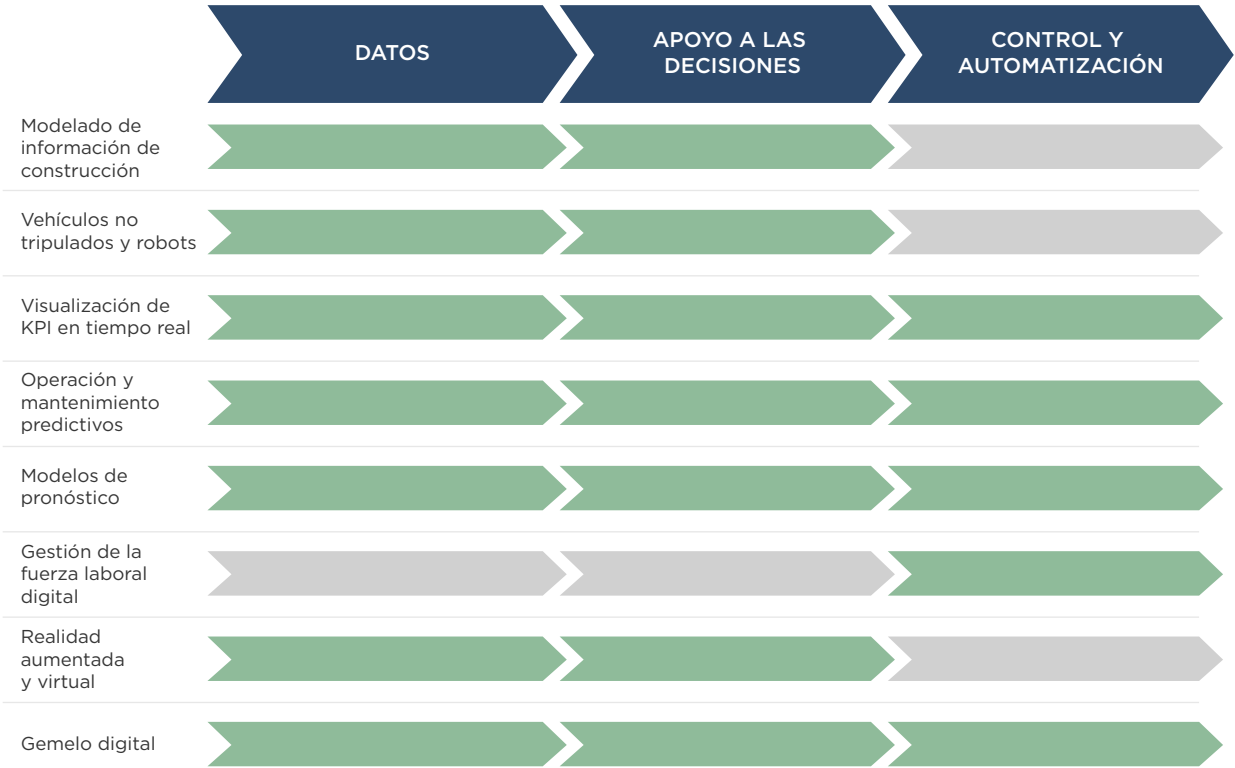
## 4. PANORAMA GENERAL DE LAS TECNOLOGÍAS DE DIGITALIZACIÓN (PERTINENTE PARA EL SECTOR HIDROELÉCTRICO)

La digitalización aumenta la capacidad de recopilar y comunicar datos, procesar dichos datos para tomar mejores decisiones y, posiblemente, para automatizar la ejecución de decisiones. Esta sección proporciona las funcionalidades y los beneficios de numerosas tecnologías digitales e innovadoras individualmente.

La figura 11 muestra una descripción general de dónde encajan estas tecnologías clave en la cadena de valor digital que se muestra en la figura 1 de la sección 1.1, así como las tecnologías impulsadoras indicadas en la figura 7. No obstante, a medida que evolucionan muchas de las tecnologías de detección y análisis, el gráfico puede cambiar en el transcurso del tiempo (por ejemplo, se puede prever fácilmente la aparición de una gestión de la fuerza de trabajo y el apoyo a la toma de decisiones basadas en los datos).

Figura 11: Las tecnologías de digitalización y su lugar dentro de la cadena de valor digital. El color verde indica la aplicabilidad de cada tecnología

Fuente: Pöyry Energy Business Group



El color verde indica la aplicabilidad de cada tecnología.

## Modelado de información de construcción

La tecnología de modelado de información de construcción (BIM, por sus siglas en inglés) proporciona modelos 5D de proyectos hidroeléctricos más grandes de todo tipo: permite el aumento de modelos 3D (es decir, dimensiones espaciales: altura, longitud y ancho) con una cuarta dimensión, tiempo (4D); y una quinta dimensión, costo (5D). El BIM se logra compilando y procesando datos sobre (i) dimensiones espaciales mediante digitalización láser o fotogrametría, mejoradas con material visual a partir de la fotografía con drones; (ii) costos (es decir, costos recientes de equipos y materiales para reparar o reemplazar); y (iii) operaciones diarias para evaluar el tiempo de uso y, por lo tanto, el tiempo restante para la reparación, el mantenimiento o el reemplazo.

La tecnología BIM aumenta la transparencia y la eficiencia en la operación y el mantenimiento o la rehabilitación; por lo tanto, los datos de BIM pueden usarse para reducir aún más los costos de operación y mantenimiento. El BIM es un punto de partida esencial para los gemelos digitales (ver más adelante), que en el nivel más simple combina una vista estática de la instalación con una representación en tiempo real de su estado operativo.



Durante la fase de diseño y planificación de una central hidroeléctrica, la tecnología BIM es fundamental para garantizar las cifras finales de CAPEX y evitar futuras incompatibilidades o dificultades en la fase de integración; por ejemplo, entre las instalaciones eléctricas y mecánicas y las obras civiles. Además, el uso experimentado del BIM ayudará a facilitar la implementación de cambios de diseño y proporcionará los datos de entrada para una gestión de proyectos ágil y transparente durante la fase de construcción. En ALC, el BIM puede ser un elemento clave para la coordinación de diferentes frentes de trabajo (con diferentes contratistas), incluida la cadena de suministro de equipos, al ayudar a reducir los aumentos de costos y los retrasos, que resultan muy frecuentes en el desarrollo de la energía hidroeléctrica en la región<sup>26</sup>.

## Vehículos no tripulados y robots

Los vehículos no tripulados, también conocidos como "drones", y los robots con tecnología de detección remota permiten una inspección mejorada, con mayor seguridad, en todas las etapas, desde el diseño hasta la construcción y la operación (figura 12).

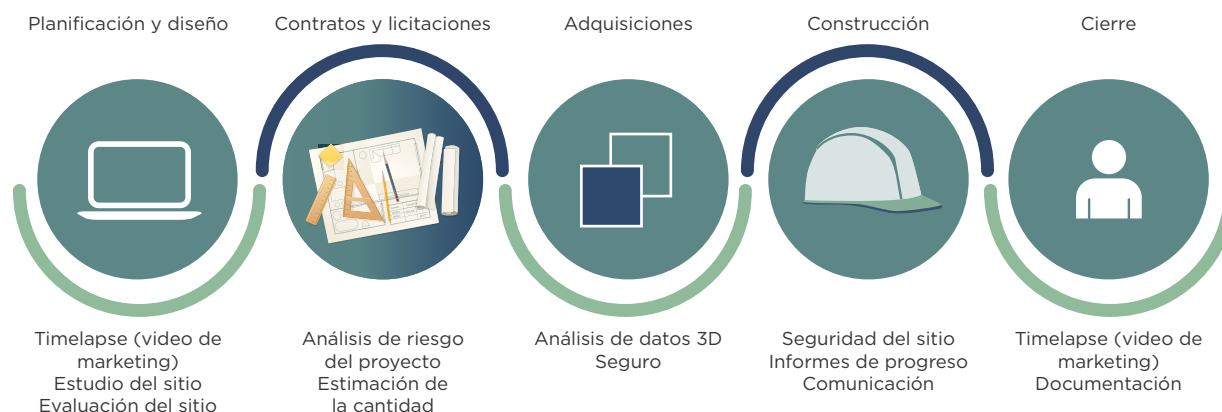
En la fase de planificación y diseño, los drones se pueden utilizar para realizar un estudio preliminar del sitio que mejora los costos del proyecto y la precisión de la topografía de referencia en casos en que la información satelital no está actualizada y la accesibilidad es limitada.

En la fase de construcción, los drones y los robots de buceo con sensores y actuadores pueden permitir el monitoreo de los avances y el modelado digital de la superficie con alta precisión.

En la fase de operación, los robots de buceo y los drones también se pueden usar para apoyar tareas de inspección, construcción y mantenimiento bajo el agua, así como en áreas confinadas. Se utilizan principalmente en lugares donde el despliegue de seres humanos es demasiado peligroso, demasiado costoso o simplemente imposible. Esto se traduce en una seguridad mayor debido al alcance de áreas inaccesibles y, ocasionalmente, en una reducción de costos. Por ejemplo, Enel Green Energy Chile ha comenzado a usar robots en sus empresas de servicios hidroeléctricos para permitir inspecciones en tuberías bajo presión y poder medir el volumen de sedimentación en las represas de los reservorios.

En última instancia, los drones son una valiosa fuente potencial de datos (particularmente en socavones y áreas peligrosas) que pueden sustentar muchas otras iniciativas digitales relacionadas con el soporte para la toma de decisiones o la automatización.

Figura 12: Cómo se usan los drones en todo el ciclo de vida del proyecto de construcción. Fuente: <https://medium.com/@askdroneu/how-drones-are-being-used-across-the-construction-project-life-cycle-9ce504394e60>



26. El sector hidroeléctrico en Latinoamérica: Desarrollo, potencial y perspectivas. Arturo D. Alarcón. p. cm. (Nota técnica del BID; 1405), 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.18235/0001149>

## Visualización de KPI en tiempo real

Los indicadores clave de rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés) en tiempo real se utilizan como parte de los programas de excelencia operativa, donde los KPI clave, como el factor de potencia, el estado de los activos, la disponibilidad, etc., se integran directamente con los KPI financieros de la central, generalmente desde el sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés), para evaluar inmediatamente el impacto comercial. Dentro de este proceso, los KPI operativos se calculan continuamente a partir de parámetros de piso (equipo/máquina), y se combinan con análisis hipotéticos para visualizar el impacto del cambio en cada parámetro sobre los KPI comerciales. Por ejemplo, es posible calcular en tiempo real los costos operativos (USD/MWh) para una central específica, dadas ciertas condiciones de la central, lo que permitiría la comparación con los puntos de referencia<sup>27</sup> o con otras centrales, o incluso para llevar a cabo una evaluación de qué pasaría si se decide ingresar en un mercado o no.

## Operación y mantenimiento predictivos

La digitalización y la gran cantidad de datos que la sustentan permiten la predicción de fallas y el mantenimiento dinámico. Este es uno de los usos más claros de la inteligencia artificial (IA) en la energía hidroeléctrica, lo que permite a los operadores predecir las fallas de los equipos con mucha anticipación, mediante el uso de datos de sensores de varias unidades para reducir significativamente los costos de tiempo de inactividad y mantenimiento.

Las actividades de operación y mantenimiento predictivos recopilan datos en tiempo real y los procesan, también en tiempo real, con algoritmos de aprendizaje automático (también correlacionados con big data, si corresponde). Se evalúan parámetros críticos, como temperatura, vibración, corrosión, corrientes de cortocircuito, etc., se detectan posibles fallas y se programa el mantenimiento en consecuencia a través del análisis de datos, la optimización y la automatización. En este sentido, por ejemplo, el Columbia Water Center en EE. UU. está desarrollando un proyecto que podría usar modelos climáticos, datos GIS e inteligencia artificial para predecir la probabilidad de que la lluvia sobrepase una represa y cause un daño significativo a la población y a la infraestructura crítica<sup>28</sup>.

Actualmente Statkraft Perú, en su centro de control, recibe más de 15 000 señales analógicas y digitales de información desde sus 9 centrales eléctricas. Debido a esa cantidad de información, la empresa desarrolló un sistema de inteligencia artificial con más de 5 millones de entradas de datos para entrenar a la IA con una red neuronal que permite la detección temprana de fallas en la unidad hidráulica de la central hidroeléctrica Malpaso.

## Modelos de pronóstico

Los modelos de pronóstico de flujos de entrada y de mercado (es decir, de precios) también han mejorado considerablemente en la tecnología actual, debido a los pronósticos meteorológicos mejorados y la capacidad de implementar datos en tiempo real y casi real a los modelos de pronóstico. Los modelos de pronóstico también se pueden mejorar para producir resultados aún más precisos mediante inteligencia artificial basada en big data, el análisis de datos de la central y el aprendizaje automático.

En la fase de diseño, esto significa una mejor planificación de la inversión tanto en términos técnicos como comerciales y financieros; es decir, posibles ganancias y financiamiento de proyectos. En la fase de operación, las herramientas de pronóstico se pueden mejorar incorporando los datos de sensores de la central para ayudar a optimizar la operación de las centrales eléctricas a fin de reducir al mínimo las pérdidas de producción. Esto puede ampliarse para incluir sistemas de optimización de la gestión del agua para gestionar la variabilidad del flujo de entrada y reducir riesgos

27. Ver por ejemplo: Evaluación comparativa de centrales hidroeléctricas: <https://www.hydropower-evolutions.com/documents/140918ENGHydroBenchmarkingPresentationatVGBCConferencefinal.pdf>

28. <https://www.hydroworld.com/articles/2018/08/using-artificial-intelligence-as-a-tool-to-locate-risky-dams.html>



como inundaciones y sequías, todo ello con el objetivo final de maximizar las ganancias de los diferentes mercados (mercados de electricidad, flexibilidad y servicios auxiliares, así como otros beneficios como el riego) mediante una regulación del agua mucho más eficiente con respecto a los pronósticos de las condiciones climáticas, el rendimiento de los activos y las condiciones del mercado. Del mismo modo, cuando los propietarios de las centrales cuentan con una cartera diversa, que puede incluir la generación de energía eólica y solar, los modelos de pronóstico pueden ayudar a optimizar la producción de la cartera y la participación en el mercado.

Los modelos de pronóstico también se pueden combinar con el comercio algorítmico, lo que se traduce en la automatización de las ofertas comerciales basadas en modelos de pronóstico mejorados con inteligencia artificial. En este contexto, vale la pena mencionar que en 2018 Statkraft Perú introdujo el aprendizaje automático en el modelado hidrológico. Se ha desarrollado un modelo hidrológico de una cuenca utilizando big data con el objetivo de tener un mejor pronóstico dentro de un período de 3 a 5 días.

Según el Financial Times, el comercio sistemático y algorítmico ahora representa casi el 60 % del volumen comercializado solo en el grupo de productos energéticos del Chicago Mercantile Exchange; es decir, el nivel más alto de cualquier grupo de productos básicos. La evidencia anecdótica (de la bolsa) afirma que a mediados de 2018 más del 50 % de las transacciones en el mercado intradía al contado (spot) de EPEX eran negociaciones algorítmicas, aunque los volúmenes totales negociados eran más pequeños que los intercambiados manualmente por humanos.

## **Gestión de la fuerza de trabajo digital**

Las soluciones digitales de la gestión de la fuerza de trabajo digital (WFM, por sus siglas en inglés) ayudan al personal de operación y mantenimiento en el trabajo rutinario en términos de programación y documentación de operaciones: las soluciones digitales móviles reemplazan los libros de maquinaria analógica al permitir que el personal revise e introduzca datos de mantenimiento directamente en el sitio e informe automáticamente a las plataformas de operación y mantenimiento administradas centralmente, lo que disminuye el esfuerzo administrativo y garantiza la claridad y la eficiencia de los procesos de mantenimiento. En combinación con los datos de disponibilidad del personal, esto se traduce en diversos grados de toma de decisiones automatizados sobre los programas de mantenimiento, desde algoritmos de optimización simples hasta sistemas complejos de aprendizaje automático. Esto permite un despliegue efectivo de la fuerza laboral de mantenimiento y, por lo tanto, ayuda en gran medida a mejorar la disponibilidad y reducir los costos de operación y mantenimiento. En Perú, Statkraft utiliza su propia aplicación móvil para trabajos de supervisión. Esta aplicación les ahorra horas de trabajo y documentación, además de permitir que la oficina de control centralizada sepa lo que está sucediendo en tiempo real.

## **Realidad aumentada y virtual**

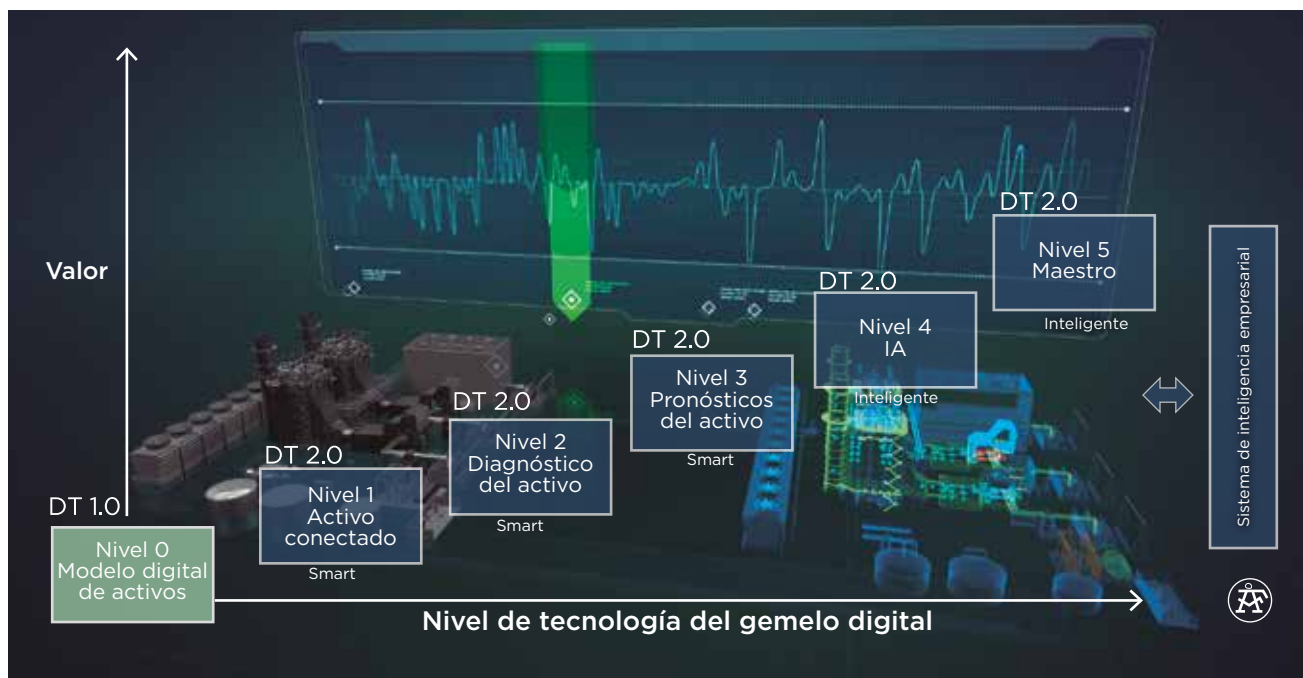
La realidad aumentada y virtual es una herramienta de visualización de datos aplicada en varias etapas de una central eléctrica, desde la decisión de inversión, el diseño y la planificación hasta el mantenimiento y la capacitación de la fuerza laboral. La visualización de modelos mejora la cooperación de los equipos de diseño, planificación y operaciones de diferentes disciplinas. Las soluciones móviles proporcionan información (por ejemplo, de cámaras o escáneres 3D), documentación e informes en tiempo real a la fuerza de trabajo de mantenimiento. La realidad virtual y los videos de 360° permiten la capacitación sobre activos operativos a los que se tiene un acceso limitado o nulo, como impulsores o rotores de generadores. Además, y en el contexto de la rehabilitación, la digitalización 3D ayudan a reconstruir el entorno técnico de una manera eficiente y detallada, lo que permite un diseño de rehabilitación rentable y personalizado. Junto con el software hidráulico Computational Fluid Dynamics (CFD), la digitalización 3D ayuda a comprender los puntos débiles de las centrales existentes y, por lo tanto, proporciona más información en lo que respecta a un diseño rentable orientado a los problemas. En Perú, Pöyry ha realizado, por ejemplo, digitalización 3D para recrear generadores hidroeléctricos a fin de identificar si hay alguna desviación en el rotor y el estator; también ha realizado simulaciones 3D de una posible ruptura en la represa para explorar una solución. Muchas empresas también están utilizando dispositivos móviles para apoyar al personal de mantenimiento de la central. Respecto de este tema, las empresas también están utilizando códigos QR para identificar componentes y dispositivos de medición específicos.

## Gemelo digital

El gemelo digital es quizás la aplicación más poderosa de digitalización para la energía hidroeléctrica (figura 13). Crea una réplica exacta de un componente técnico mediante la combinación de modelos matemáticos con sensores y mediciones de datos, en un entorno virtual a través del Internet de las cosas (IoT). Los modelos matemáticos y las mediciones en tiempo real ayudan a obtener réplicas exactas a través de un proceso iterativo, donde el modelo matemático se refine permanentemente mediante el uso de las mediciones en tiempo real. Un gemelo digital no es solo una herramienta de visualización, sino también una herramienta de simulación y evaluación que replica exactamente el comportamiento de un componente, en condiciones reales o simuladas. Los sensores conectados a los componentes clave recopilan y procesan datos en tiempo real para que la versión digital pueda actuar como el objeto real, lo que permite al personal monitorear de forma remota el componente, detectar fácilmente los elementos defectuosos y tomar medidas inmediatas en el sitio, o incluso simular escenarios hipotéticos de tensión en la central.

Según el propósito, los gemelos digitales se pueden realizar a nivel de todo el sistema, para centrales completas o solo para las partes sensibles de una central. Los beneficios de su aplicación abarcan desde un mantenimiento mejorado hasta la seguridad de las represas. Se espera que las ganancias en costos de operación y mantenimiento sean de USD 4 000 por MW por año<sup>29</sup>. Por ejemplo, Voith ha implementado un sistema de análisis de sonido que permite identificar las causas de la reducción de la eficiencia y las fallas a través de un gemelo digital<sup>30</sup>. De manera similar, General Electric creó una representación virtual de una central hidroeléctrica en la nube y utilizó datos para compararla con su estado en el mundo real, lo que ha mejorado su confiabilidad en al menos el 1 % o más. Esta mejora a escala global representaría un incremento de 413 GWh de generación hidroeléctrica debido al mayor tiempo de actividad.

Figura 13: Niveles de valor de gemelo digital . Fuente: AF Energy Business Division



29. <https://www.ge.com/reports/dam-powerful-ge-connected-hydropower-internet/>

30. <https://stories.voith.com/voith-optimizes-physical-assets-with-the-help-of-their-digital-twins-thereby-opening-up-new-business-opportunities-53920/en>



## 5. NIVEL DE DIGITALIZACIÓN EN LA ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ALC



En la sección 1.2, se proporciona un panorama general del estado de la digitalización en ALC. A manera de resumen de las secciones anteriores, el nivel de digitalización en los diferentes mercados energéticos en ALC depende básicamente de la estructura y la organización de los mercados de la electricidad, así como de la infraestructura de comunicación y el marco legal existentes.

Según la experiencia de Pöyry Energy Business Group en la mayoría de los países de ALC, los generadores de electricidad privados, principalmente vinculados a empresas europeas y estadounidenses, y que representan la mayor parte de los mercados de electricidad, están implementando las lecciones aprendidas de sus países de origen en los mercados locales con el respaldo de capital local y extranjero. En el caso de las instalaciones de construcción más recientes, los sistemas SCADA representan un requisito de diseño estándar que permite la implementación de futuras tecnologías digitales y la comunicación con cada parte de la central.

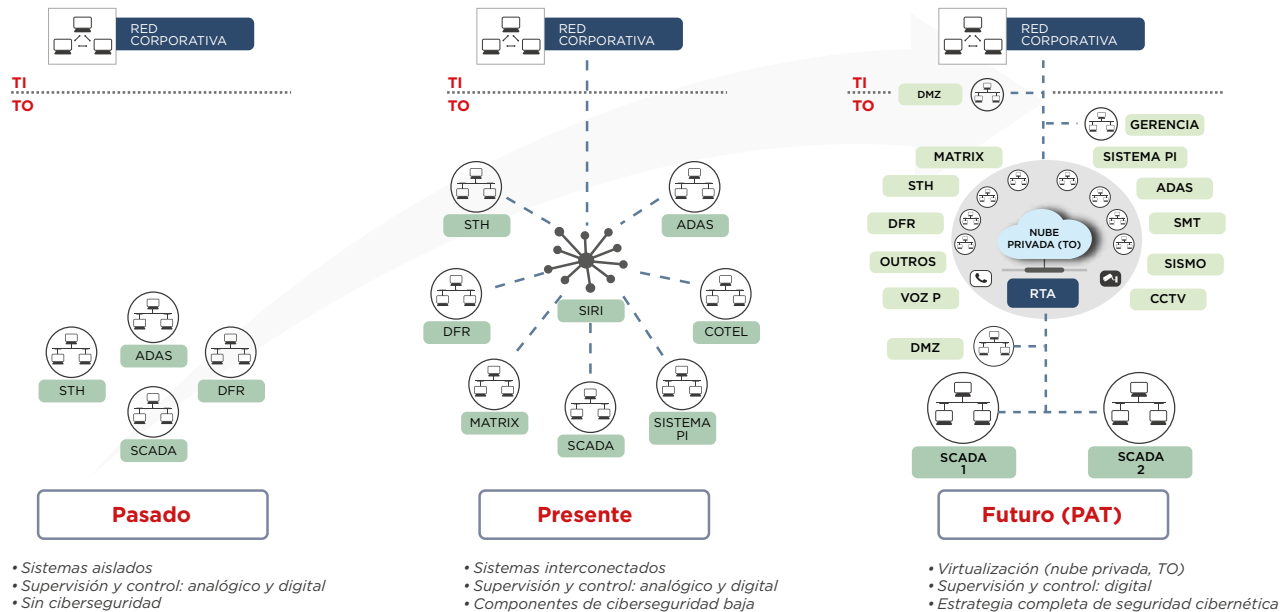
La operación centralizada es uno de los objetivos principales cuando se habla de digitalización en ALC si se tienen en cuenta la actualización y la modernización de las centrales más antiguas. Perú es un ejemplo líder de operación centralizada en ALC, donde el operador del sistema eléctrico local, el COES, gestiona de forma remota el despacho de las centrales para mantener la frecuencia del sistema. Esto se logró conectando todos los generadores mediante un cable de fibra óptica al centro de despacho centralizado ubicado en Lima, lo que obligó a los generadores a invertir en tecnologías digitales para cumplir con los requisitos de comunicación de los operadores del sistema. Además, las empresas generadoras son conscientes de que deben seguirle el paso a la digitalización para obtener beneficios futuros en términos de una generación más eficiente y la reducción de costos debido a programas de mantenimiento más precisos y prospectivos, mientras implementan procesos de seguridad mejorados. Sin embargo, esto depende notablemente de los fondos disponibles para realizar estas inversiones, lo cual en el caso de los inversionistas privados no representa una limitación importante en los países de ALC.

Además de las instalaciones de generación eléctrica, los sistemas de transmisión y distribución también se enfrentan a la revolución digital. Según ABB, la mayoría de las subestaciones eléctricas que operan en Perú son de tipo convencional. El operador del sistema está muy interesado en implementar estas nuevas tecnologías, ya que las subestaciones eléctricas digitales pueden reducir hasta el 30 % de los costos totales de construcción y el 70 % de los costos de operación y mantenimiento.

Otros ejemplos recientes y conocidos de digitalización provienen de Brasil, Argentina, Uruguay, Paraguay y Chile. En un taller internacional denominado "Digitalización en el sector hidroeléctrico", que se realizó 2018, realizado en el Complejo Hidroeléctrico Salto Grande (Argentina y Uruguay), se logró demostrar logros que se presentan y se comparten a través de los sitios web de las diferentes empresas, y se hizo hincapié en que la digitalización ha sido un factor impulsor del negocio hidroeléctrico durante la última década en ALC.

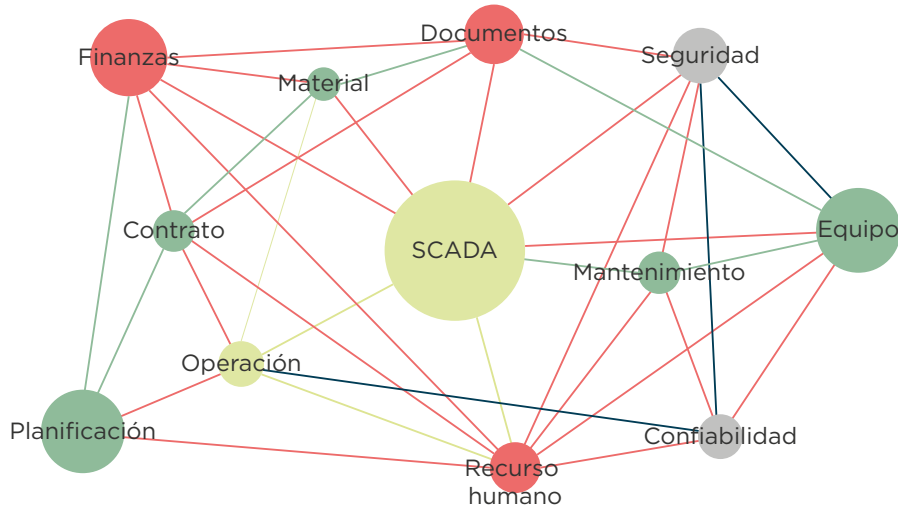
En particular, el sistema de control centralizado surgió inicialmente en el año 2003, cuando se aprovechó la interconexión y las posibilidades que ofrecían las nuevas tecnologías digitales, por ejemplo, en el proyecto "Itaipú Binacional" entre Brasil y Paraguay (consulte la figura 14). El esquema del proyecto ayuda a comprender cómo toda la tecnología operativa (TO) (se detalla en la figura) funcionará de manera sincronizada para que los usuarios puedan ver y controlar el rendimiento de la energía hidroeléctrica en la interfaz externa (IE). Dado el tamaño de esta central eléctrica, el proyecto se está implementando en numerosas etapas, mediante la interconexión gradual de todas las tecnologías operativas de la central y, eventualmente, mediante la recopilación, el almacenamiento y el análisis (en el futuro) de toda la información en la nube. Un aspecto clave en este proceso es la necesidad de un equipo multidisciplinario. Además, dado el ritmo de los avances tecnológicos, la digitalización podría requerir una actualización constante de los sistemas. La seguridad cibernética también es un aspecto clave, que deberá desarrollarse gradualmente a medida que aumente la complejidad de la digitalización.

Figura 14: Evolución del sistema de monitoreo binacional de Itaipú. Fuente: ITAIPÚ BINACIONAL, presentación del Proyecto de Modernización en el taller de Salto Grande del 27 al 28 de agosto de 2018



Otro ejemplo que se muestra en la figura 15 es CTG Brasil, que ha modernizado sus centrales hidroeléctricas Ilha Solterria y Jupia mediante la actualización del sistema SCADA con el objetivo de lograr una interconexión entre la operación del sitio y la operación de la empresa, lo que crea un puente entre la IE y la TO. Otro objetivo es conectar no solo la operación y el mantenimiento, sino también otras áreas, como la seguridad y las finanzas, para que la toma de decisiones se realice con más precisión. Además, todos los sistemas de operación, control y monitoreo analógicos serán reemplazados por sistemas digitales, y la operación de la central eléctrica se automatizará con el objetivo principal de aumentar la eficiencia, la seguridad y la confiabilidad.

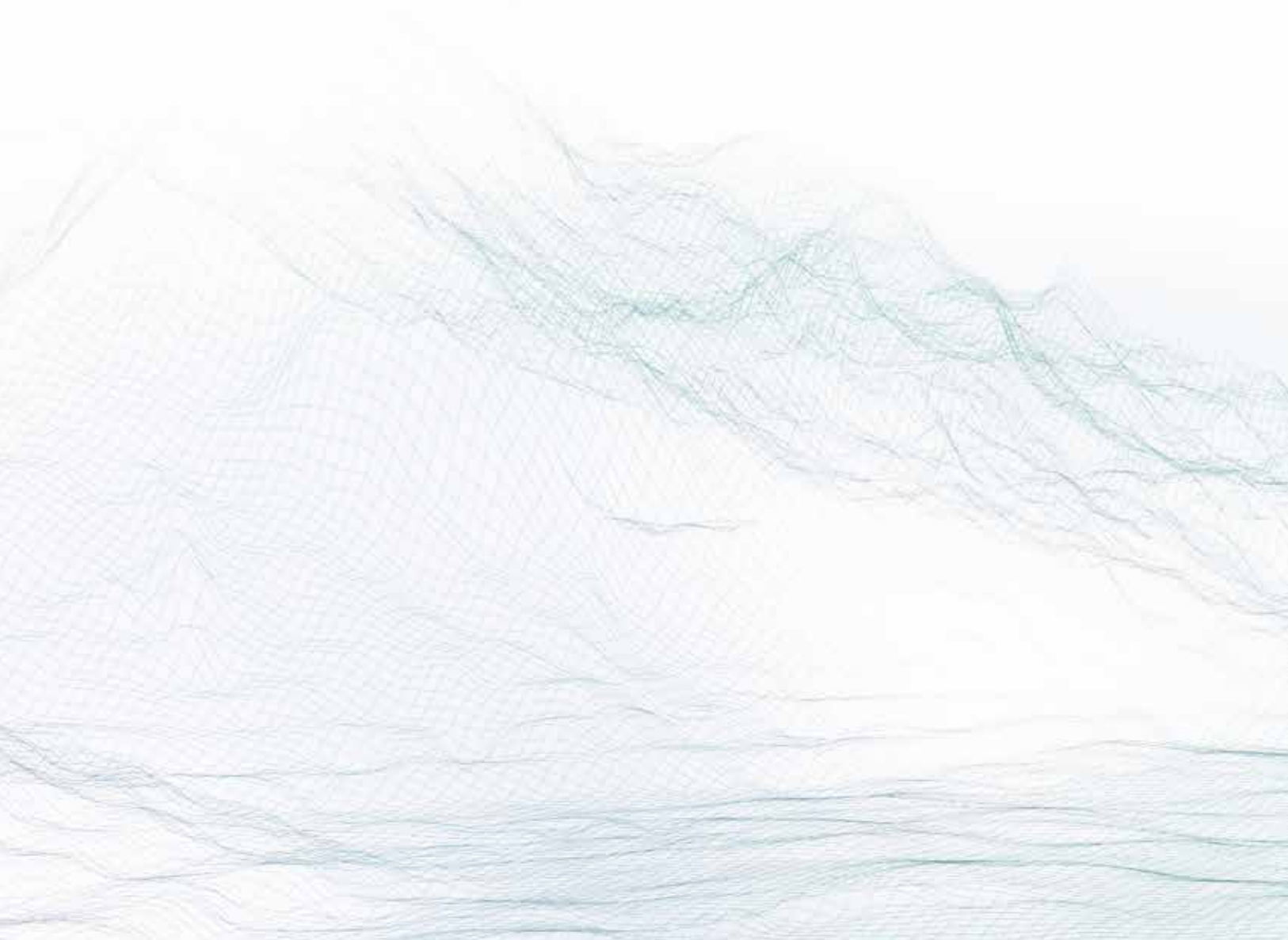
Figura 15: Estrategia de organización de CTG Brasil. Fuente: CTG Brasil, La modernización de las centrales hidroeléctricas de ILHA SOLTERIA y JUPIA en Brasil en el taller de Salto Grande del 27 al 28 de agosto de 2018



Del mismo modo, Salto Grande, que es compartida por Argentina y Uruguay, y también Yacyretá (compartida por Paraguay y Argentina) planean aprovechar las tecnologías digitales transformando algunos de sus equipos eléctricos en equipos digitales completamente monitoreados a través del sistema SCADA. El principal objetivo de Salto Grande es digitalizar el equipo de control y protección para garantizar que la instalación esté bien preparada para futuras operaciones, dentro de su programa de modernización a largo plazo.

Además, en Chile, la empresa Enel ha implementado sensores meteorológicos inalámbricos de bajo costo que son capaces de autoalimentarse y son ideales para áreas remotas de difícil acceso. Su objetivo es aumentar la seguridad de las centrales eléctricas para mejorarlas y optimizarlas, y así reducir el costo de los procesos de operación y mantenimiento.

Es importante tener en cuenta que la mayoría de estos cambios y modernizaciones en el sector hidroeléctrico son implementados por las diferentes áreas de negocio y no por una división de digitalización en sí misma. Es decir, estas empresas no implementan una "estrategia de digitalización" completamente desarrollada, sino diferentes acciones de digitalización independientes (y a veces no coordinadas). Por ejemplo, el área de operación y mantenimiento podría tener un proyecto y el área comercial, otro. Esto podría acarrear costos más altos y también podría causar un conflicto a largo plazo (debido a problemas de compatibilidad). Es importante mencionar esto porque, aunque ALC está implementando soluciones de digitalización, estas todavía no están organizadas ni totalmente alineadas a lo largo de toda la cadena de suministro. Además de la implementación técnica, la digitalización también se introduce en las áreas no técnicas de las empresas, como las divisiones legales y socioambientales. Todos estos esfuerzos aún deben agruparse, y es necesario desarrollar una estrategia general de digitalización dentro de las empresas de generación hidroeléctrica en ALC.





## 5.1

### ESTUDIOS DE CASOS QUE EJEMPLIFICAN EL ESTADO ACTUAL DE LA DIGITALIZACIÓN EN ALC

Como se indicó en la sección 1.2, la digitalización en ALC carece de los desarrollos observados en la OCDE, China y EE. UU. Aunque este hecho se discute en muchas otras publicaciones, es relevante distinguir entre el sector público y el privado. En el sector de la energía, se espera que haya un aumento de los ingresos debido a la digitalización en todo el proceso, desde la generación hasta la comercialización del cliente final. Con respecto al estado actual de la digitalización en la energía hidroeléctrica, se seleccionaron los países de Chile, México y Perú, ya que son representativos de la región, y también cubren todo el período de desarrollo, desde los más avanzados (Chile) hasta los rezagados (Perú), con México en el medio. Por lo tanto, para obtener más información sobre el estado real y las iniciativas digitales en el sector hidroeléctrico privado, se entrevistó a las siguientes empresas:

- Colbún S.A. (Chile: <https://www.colbun.cl/>)
- Pacific Hydro S.A. (Chile: <https://www.pacifichydro.cl/>)
- Generadora FÉNIX (México: <http://www.fenixenergia.com.mx/>)
- Statkraft Perú (<https://www.statkraft.com.pe/>)

Las entrevistas se realizaron en las oficinas de las empresas mencionadas anteriormente o por videoconferencia. Para obtener un panorama general de la digitalización en la energía hidroeléctrica, se plantearon las siguientes preguntas durante las entrevistas:

1. ¿Cuál es su comprensión respecto de la digitalización en la energía hidroeléctrica?
2. ¿La digitalización desempeña una función en las relaciones públicas y la publicidad de la empresa?
3. ¿Existen proyectos específicos realizados, en curso o previstos? En caso afirmativo, ¿cuáles son?
4. ¿De qué manera la digitalización/estos proyectos influirán en los negocios futuros (expectativas)?
5. ¿Cuáles son los principales riesgos/amenazas en lo que respecta a la digitalización en la energía hidroeléctrica (TI/personal calificado/costo/etc.)?
6. ¿Dónde se observa el mayor potencial para la digitalización en el sector hidroeléctrico (operación/construcción/rehabilitación/etc.)?
7. ¿Cuáles son sus experiencias o aprendizajes respecto de la digitalización hasta ahora?
8. ¿Tiene implementada una estrategia de digitalización o tendrá una en el futuro próximo?



## COLBÚN

Colbún S.A. es una empresa de origen chileno dedicada a la generación de energía eléctrica. Cuenta con 26 centrales eléctricas en Chile y Perú con una capacidad instalada total de 3893 MW distribuidos en diferentes tipos de tecnologías de generación. La empresa también posee 941 kilómetros de líneas de transmisión y un total de aproximadamente 1000 empleados. Colbún posee y opera 4 centrales hidroeléctricas de embalse (1035 MW) y 13 de pasada (565 MW) en Chile. La entrevista con Colbún (COL) se puede resumir de la siguiente manera:

- ▣ La transformación digital de la empresa y sus procesos constituye un eje estratégico para la modernización de la empresa.
- ▣ Actualmente, esto significa la reingeniería de todos los procesos y procedimientos internos a partir de la operación y el mantenimiento de las centrales, pero también de las áreas de negocios y de servicio al cliente.
- ▣ Como primera etapa y en función del estado actual de cada central, esto significa la automatización y la centralización de edificios de control para el control remoto de las centrales o de ciertos grupos de centrales. La implementación es un enfoque de tres fases en el que una de sus centrales alcanzará la fase 3 y, por lo tanto, tendrá un control remoto completo.
- ▣ Las medidas de digitalización propuestas se evalúan en virtud de un esquema de costo-beneficio antes de la implementación.
- ▣ El potencial futuro se ve en la simplificación, con el uso de la IA, del concepto de operación y mantenimiento que cambia del mantenimiento preventivo al mantenimiento de la condición.
- ▣ La simplificación de la operación y el mantenimiento también significa una reducción en el personal. Tiempo de respuesta reducido para informar en caso de falla o interrupción; y también, una reducción en el tiempo de procesamiento del análisis de datos.
- ▣ Adaptación a las nuevas necesidades comerciales: i) instalación de medidores inteligentes; ii) recopilación de datos detallados y más granulares de los clientes; y iii) consulta a los clientes para mejorar su perfil de consumo eléctrico, a fin de tener acceso a acuerdos más atractivos.
- ▣ Las necesidades de los clientes son cada vez más exigentes en lo que respecta a otros servicios, como la energía distribuida desde techos solares, las estaciones de carga para vehículos eléctricos, etc. Para ello, es necesario crear un apoyo administrativo adecuado para el análisis de los datos del cliente, así como dar un paso adelante hacia la automatización de los servicios al cliente.
- ▣ El principal potencial de la digitalización se ve en la automatización del control de la central.
- ▣ La infraestructura de comunicación fuera de las propiedades de Colbún es un factor limitante en la velocidad de implementación de las medidas mencionadas anteriormente.

## Pacific Hydro

Pacific Hydro es un proveedor global de soluciones de energía limpia. En funcionamiento desde hace más de 20 años, la empresa desarrolla, construye y opera proyectos de energía renovable y vende productos para la reducción del uso de electricidad y carbono a los clientes en nuestros mercados. La empresa tiene proyectos de energía hidroeléctrica y eólica en diferentes etapas de desarrollo, construcción y funcionamiento en Australia, Brasil y Chile, con la visión de crear valor económico, social y ambiental al ser el proveedor preferido de soluciones de energía limpia de sus clientes.

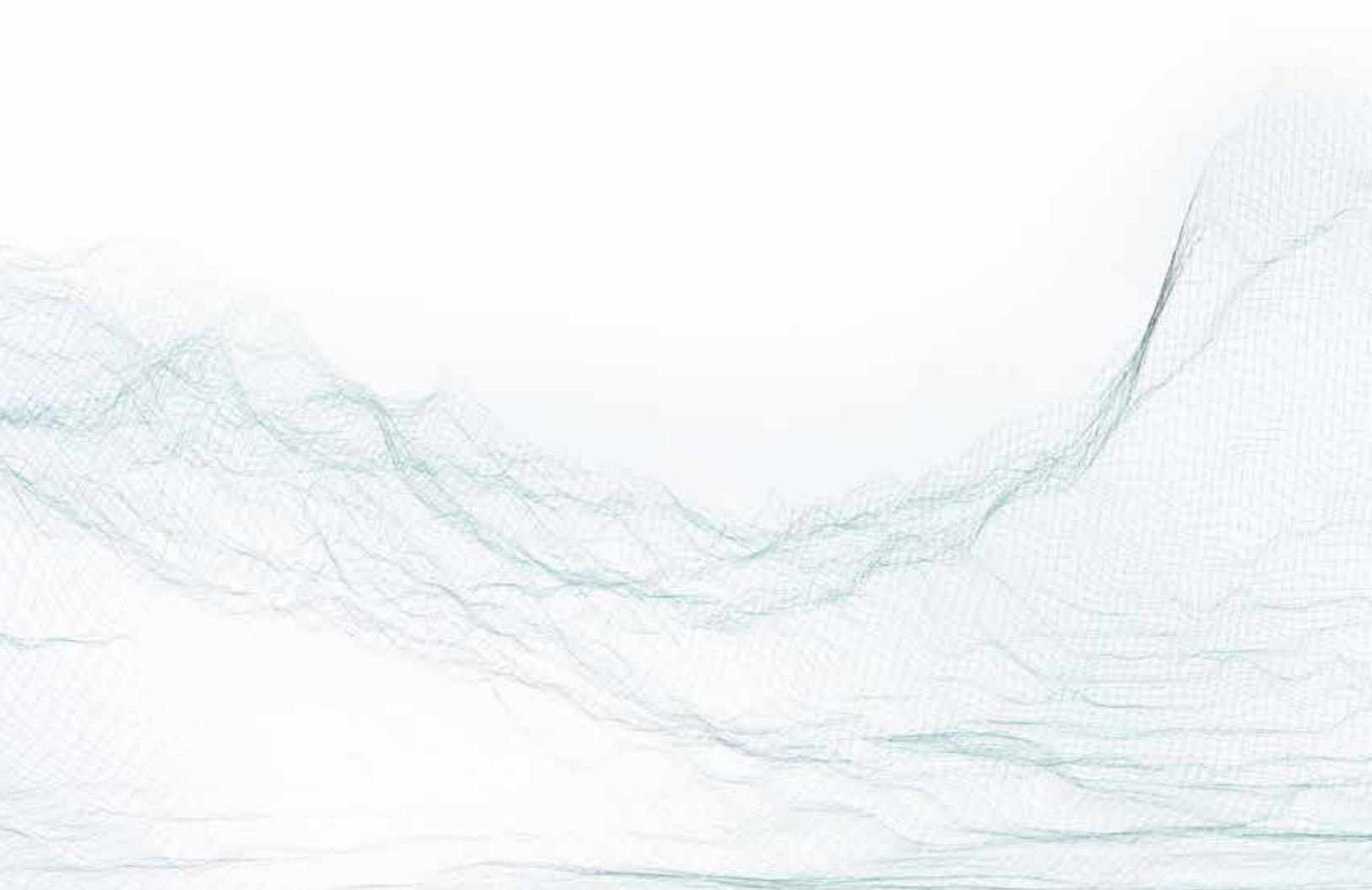
Presente en Chile desde 2002, Pacific Hydro produce energía limpia a través de sus centrales hidroeléctricas de pasada en la región IV del país. Entre los proyectos en funcionamiento, se incluyen las centrales hidroeléctricas Chacayes, Coya y Pangal en el valle de Cachapoal, y La Higuera y La Confluencia en el valle de Tinguiririca a través de la empresa conjunta Tinguiririca Energía. Desde 2018, Pacific Hydro opera su primer proyecto de parque eólico en Chile, Punta Sierra, ubicado en Ovalle. Además, continúa desarrollando su línea de proyectos hidroeléctricos de pasada de 500 MW en el valle de Cachapoal. Fundada en Australia en 1992, Pacific Hydro es propiedad de State Power Investment Corporation (SPIC), a través de State Power Investment Overseas Co., Ltd. de China (SPIC Overseas).

SPIC es uno de los cinco mayores grupos de generación eléctrica de China, con activos totales de USD 113 000 millones y una capacidad instalada total superior a los 126 GW. SPIC opera en las industrias de generación eléctrica, carbón, aluminio, logística, finanzas, protección del medioambiente y alta tecnología. SPIC está presente en 41 países y regiones en el extranjero, incluidos Australia, Chile, Malta, Japón, Brasil, Turquía y Vietnam.

La entrevista con Pacific Hydro Chile (PHC) se puede resumir de la siguiente manera:

- Internamente, el proceso de digitalización comenzó 2 a 3 años atrás y el programa consta de varios pilares: informática en la nube, análisis de big data, IoT. Todo esto debe estar bajo un concepto corporativo de seguridad cibernética.
- Dentro del alcance de IoT, se recopilan datos de todos los sensores y equipos, y se los envía a un almacenamiento central de datos.
- La principal motivación para invertir en digitalización es, en primer lugar, modernizar las centrales más antiguas para aumentar la disponibilidad y disminuir los tiempos de corte de energía.
- Todavía no hay una imagen clara de cuánto será el beneficio económico de la digitalización, pero PHC está convencido de que las inversiones tendrán un impacto positivo.
- El primer objetivo principal ya alcanzado fueron:
  - Instalación de un centro de datos de alta calidad para finales de 2017.
  - El segundo paso es digitalizar la TO y definir la calidad de los datos.
- Las centrales eléctricas más antiguas con muchos sistemas analógicos deben cambiarse en coordinación con el personal de operación y mantenimiento de acuerdo con sus prioridades.
- Hoy en día, PHC se encuentra en una situación en la que el mantenimiento preventivo sigue predominando debido a algunos índices altos de fallas en sus centrales más antiguas (más de 100 años). Por lo tanto, el primer paso es la modernización, lo que incluye el intercambio de componentes defectuosos por otros nuevos para alcanzar niveles de referencia de disponibilidad de componentes. Solo entonces es posible pasar a un mantenimiento predictivo basado en datos digitales de los sensores de componentes en la central.

- En la visión de PHC y con base en IoT, el sistema puede dar mantenimiento automático a los componentes, medir el desgaste de equipos y solicitar servicios del proveedor de equipos hasta el pedido automático de piezas de repuesto en función de los índices de fallas predictivas.
- La prioridad de PHC es que las centrales más antiguas alcancen un nivel razonable de disponibilidad antes de llevar las centrales modernas al nivel de IoT debido al mayor impacto económico que ello implica.
- Un centro de operación global con todas las centrales eléctricas (Chile, Brasil y Australia) se encuentra actualmente en fase de prueba.
- La falta de profesionales adecuados no es un problema, ya que los países y los proveedores más avanzados pueden ofrecer un sistema funcional operativo que incluya la capacitación correspondiente.
- En cuanto a las comunicaciones a larga distancia, actualmente existe una barrera económica para conectar instalaciones remotas. Sin embargo, existen nuevas tecnologías que pueden resolver este problema. Por otro lado, el gobierno (SUBTEL) todavía está debatiendo bajo qué estándar se implementarán estos sistemas de comunicaciones a nivel nacional, lo que en consecuencia reduce la velocidad de los avances.





## Generadora FÉNIX

"En Generadora Fénix ofrecemos servicios de generación y venta de energía eléctrica sostenible al mercado mayorista de México. Tenemos la capacidad tecnológica para ofrecer energía eléctrica renovable de manera eficiente, confiable y con un nivel superior de servicio. Nuestra comprobada experiencia en el sector nos permite ofrecer esquemas flexibles que se adaptan a las necesidades de cada uno de nuestros clientes.

Generadora Fénix surge en 2015 como resultado de una alianza estratégica entre la empresa portuguesa Mota-Engil y el Sindicato Mexicano de Electricistas (SME) para constituirse orgullosamente como la primera empresa privada en participar en la apertura del mercado eléctrico de México. Esta alianza surge para enfrentar la nueva configuración del mercado eléctrico mexicano con la implementación de la Reforma Energética. Mota-Engil aporta su experiencia global, capacidad tecnológica y financiera, solidez, visión social y un profundo enfoque latinoamericano, mientras que el Sindicato Mexicano de Electricistas (SME) es un socio cuyo capital humano tiene un amplio conocimiento y capacidad técnica.

Contamos con 5 centrales hidroeléctricas en operación con una gran capacidad de producción de aprox. 280 MW (Central Lerma, 73,5 MW [3 unidades]; Central Alameda: 6,9 MW [3 unidades]; Central Necaxa: 108 MW [10 unidades]; Central Tepexic: 45 MW [3 unidades] y Central Patla: 45 MW [3 unidades]). Nuestras centrales están ubicadas estratégicamente en el centro del país, específicamente en Ciudad de México, Estado de México, Michoacán y Puebla, lo que nos permite tener una posición muy competitiva".

La entrevista con Generadora Fénix (GF) se puede resumir de la siguiente manera:

- Según la opinión de GF, la digitalización es clave para el rendimiento futuro de la empresa.
- La principal motivación para invertir en la digitalización es el ahorro en costos y tiempo.
- La digitalización tendrá un impacto económico principal a largo plazo y un impacto bastante limitado a corto plazo.
- Los primeros objetivos principales ya alcanzados: Centralización de la operación en México D.F.
- Creación de un centro de datos en México D.F., donde se reciben todos los datos de las centrales con:
  - Primero: Recopilación de todos los datos de las diferentes centrales.
  - Segundo: Organización de todos los datos de forma inteligente.
  - Tercero: Aplicación de análisis específicos y personalizados de big data.
- Además de la operación centralizada, el mantenimiento predictivo organizado y bien planificado se logrará con la digitalización. Básicamente, la digitalización de la central:
  - Mejorará el mantenimiento preventivo basado en diferentes parámetros de medición (por ejemplo, fallas registradas y datos del sensor).
  - Organizará mejor los trabajos de mantenimiento en términos de mano de obra, tiempo previsto y pérdida de generación de energía.
  - Permitirá tener una mejor gestión del tiempo para el mantenimiento de toda la flota.
  - Reducirá el deterioro de los activos.

- Con respecto a la rehabilitación de centrales más antiguas, se ha detectado que la digitalización apoya con:
  - Una flexibilidad superior y una toma de decisiones más rápida.
  - Un control eficiente de las obras.
  - Un intercambio de modificaciones/cambios con autoridades o terceros.
  - Una forma de comunicación rastreable y responsabilidades relacionadas.
- Aunque hasta ahora la implementación de medidas de digitalización ha obtenido muchos resultados positivos, todavía quedan algunos problemas por resolver:
  - Los resultados o sugerencias que provienen de las herramientas digitales aún tienen que demostrar su viabilidad.
  - Para obtener información específica de big data, se requiere de más investigaciones.
  - El aprendizaje continuo y la capacitación del personal son necesarios y también requieren adaptaciones a herramientas digitales en evolución.
  - La toma de decisiones basada en los resultados de las herramientas digitales aún debe mejorarse.

De la entrevista con FG podemos concluir lo siguiente:

- La digitalización ha demostrado un impacto positivo al reducir tiempos y costos y, al mismo tiempo, aumentar los ingresos.
- En el caso de México, FG no presenta problemas para obtener personal capacitado o la solución digital requerida del mercado.
- Aunque la seguridad cibernética está en la mesa de debate, no se considera uno de los principales problemas, ya que los sistemas se ejecutan en una red relativamente independiente a la que solo tienen acceso personas específicas.



## Statkraft

Statkraft es una empresa hidroeléctrica internacional líder y el mayor generador de energía renovable de Europa. El grupo produce energía hidroeléctrica, eólica, gas y calefacción urbana, y es un actor global en las operaciones del mercado energético. Statkraft cuenta con 3600 empleados en 15 países.

El mercado eléctrico peruano está compuesto por los segmentos de generación, transmisión y distribución. Statkraft en Perú está presente en los segmentos de generación y transmisión de electricidad a través de la operación de 9 centrales de generación hidroeléctrica y más de 920 km de líneas de transmisión que brindan servicio a una parte importante de la demanda del país.

Statkraft busca fortalecer su posición como líder internacional en el suministro de energía renovable. La división internacional de energía hidroeléctrica de la empresa impulsa a Statkraft Perú a fortalecer la región sudamericana por medio de adquisiciones y desarrollo de proyectos de energía renovable, además de la optimización del potencial de sus activos y recursos. Statkraft en Perú opera 9 centrales hidroeléctricas en 6 regiones del país. Actualmente aporta 450 MW de energía limpia al sistema interconectado nacional. El conocimiento y las sinergias con la empresa matriz le permiten crear valor para sus diversos grupos de interés.

La entrevista con Statkraft Perú se puede resumir de la siguiente manera:

- Statkraft tiene clara la idea de que la digitalización es un paso clave para el sector hidroeléctrico, desde el año 2015, y que sin ella, las empresas hidroeléctricas estarán en una gran desventaja en comparación con quienes la están implementando.
- Debido a los bajos precios de la energía en Perú, Statkraft se ha dado cuenta de que la digitalización es el camino que se debe seguir dado el impacto positivo que tendrá; y uno de estos impactos es la reducción del costo en la operación y el mantenimiento.
- La digitalización no solo se ha implementado en el sector operativo de Statkraft, sino también en los sectores de comunicación, seguridad, legal y comercial.
- Statkraft ha desarrollado muchas iniciativas con respecto a la innovación, por ejemplo:
- Los informes de supervisión/mantenimiento se realizan con una aplicación de smartphone que la empresa ha desarrollado. De esta manera, la empresa reduce tiempos y costos.
- Statkraft se ha asociado con la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) para crear drones que puedan detectar y analizar el estado de las líneas de transmisión, posibles nuevos asentamientos humanos, terraplenes, represas y muchas otras infraestructuras que pueden influir en la operación.
- Statkraft también desarrolló un brazo mecánico que utiliza la impresión 3D para poder introducir una pequeña cámara en los generadores para su mantenimiento. Este tipo de trabajo suele estar a cargo de personas y, por lo tanto, la iniciativa digital reduce el riesgo de posibles lesiones. Además, esta idea se presentó en una competencia de la Convención Minera de Perú, y la empresa ganó el primer lugar.
- En 2018, se introdujo el aprendizaje automático en el modelado hidrológico de una cuenca mediante el uso de big data, con el objetivo de tener un mejor pronóstico en un período de 3 a 5 días.
- Statkraft desarrolló un software para monitorear y guiar a los operadores del personal de manera virtual en cada paso de la secuencia de trabajo que llevan a cabo por medio de la realidad aumentada. Este software se

personalizó según las necesidades. Además, esta herramienta de monitoreo permite la conexión remota desde el centro de control de Lima para admitir operaciones remotas. De esta forma, se logra evitar errores en los procedimientos de mantenimiento y reducir los riesgos de exposición del personal involucrado.

■ Statkraft ha internalizado el concepto de digitalización e innovación, y ha desarrollado políticas empresariales como las siguientes:

■ El nuevo personal que ingresa en la empresa debe tener un perfil de innovación.

■ La empresa desarrolla concursos internos para motivar ideas innovadoras, principalmente relacionadas con la digitalización.

■ La empresa ha renovado sus oficinas con palabras de innovación para motivar al personal, y también ha creado ubicaciones especiales dentro de las oficinas para motivar el pensamiento original e innovador.

■ Statkraft ha sido un líder en digitalización de energía hidroeléctrica en Perú gracias a acciones como las siguientes:

■ Cuando el COES interconectó las centrales hidroeléctricas para poder controlar la energía generada, Statkraft fue una de las primeras empresas en tener todos los equipos listos para esta transición y también ayudó a otras empresas a adaptarse a esta nueva automatización.

■ En 2008, Statkraft inició la transición de la operación mecánica a la implementación de un sistema SCADA. Es importante mencionar que Statkraft tiene centrales hidroeléctricas que operan desde la década de 1930.

■ Ha sido capaz de desarrollarse para solucionar problemas con su propia experiencia interna en lo que respecta a la automatización, en lugar de tener que recurrir a otras empresas fuera del país.

■ Statkraft ha exportado su conocimiento local a otros países, como Chile y Brasil, para ayudarlos con sus problemas de digitalización, y los ha capacitado para que puedan trabajar por su cuenta.

De la entrevista con Statkraft Perú podemos concluir lo siguiente:

■ La digitalización se considera una vía de mejora para la empresa y motiva al personal a seguir mejorando el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas.

■ Perú cuenta con personal capacitado para desarrollar la mayoría de las herramientas de digitalización requeridas

■ Statkraft tiene el objetivo claro de digitalizar la mayor parte de sus operaciones para ser competitivos en el mercado.







## 6. ASPECTOS FINANCIEROS Y ECONÓMICOS DE LA DIGITALIZACIÓN PARA UNA EMPRESA HIDROELÉCTRICA TÍPICA

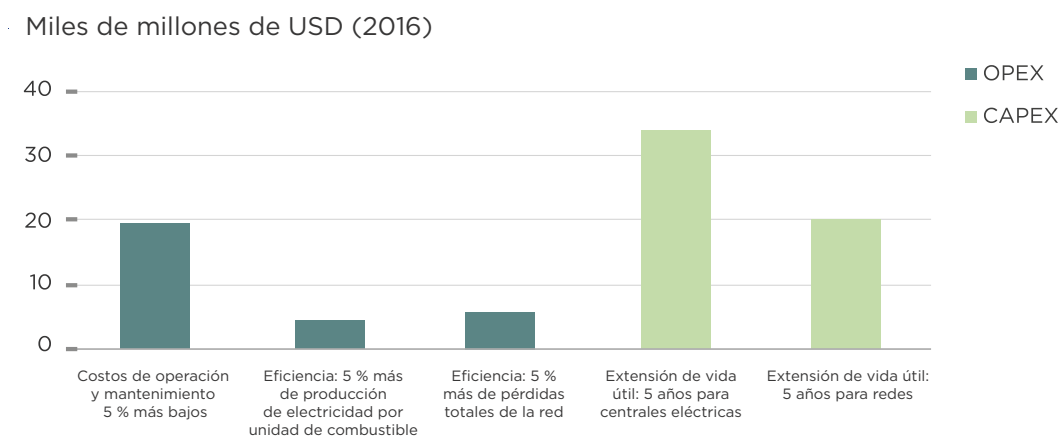
La digitalización puede tener muchas ventajas para el negocio y la operación cotidiana de una central, pero uno de los impulsores más importantes es el beneficio financiero que brinda a las empresas. La gestión de datos digitales y el análisis en el contexto de la reducción de costos se pueden ver en los siguientes cuatro campos:

- ▣ Reducción de los costos de operación y mantenimiento
- ▣ Optimización de la eficiencia de la central eléctrica y de la red
- ▣ Reducción de los cortes de energía y tiempos de inactividad no planificados mediante su predicción
- ▣ La extensión de la vida útil operativa de los activos

La AIE estima que la reducción general de costos a partir de estas medidas habilitadas digitalmente podría ser de USD 80 000 millones por año durante el período de 2016 a 2040, o de alrededor del 5 % de los costos totales anuales de generación eléctrica en función de la implementación global mejorada de las tecnologías digitales disponibles para todas las centrales eléctricas y la infraestructura de la red (consulte la figura 16). Aunque la AIE no proporciona una estimación de las inversiones requeridas en digitalización, las inversiones en digitalización suelen ser bajas en comparación con sus beneficios, que podrían dar lugar a una alta rentabilidad. Los posibles ahorros adicionales provienen de la reducción de los cortes no planificados a través de un mejor monitoreo y mantenimiento predictivo, así como también al limitar la duración del tiempo de inactividad al identificar rápidamente los puntos de fallas. Esto reduce los costos y aumenta la resistencia y la confiabilidad del suministro. Las fallas en la red son costosas, tanto para la empresa de servicios públicos como para la economía. Por ejemplo, se estima que las interrupciones del suministro de energía eléctrica solo en Estados Unidos cuestan alrededor de USD 100 000 millones al año. Las economías emergentes y en desarrollo suelen ser las más afectadas a raíz de los cortes de energía frecuentes<sup>31</sup>.

Figura 16: Posibles ahorros de costos debido a la digitalización en centrales y redes eléctricas de 2016 a 2040.

Fuente: Digitalización y Energía, Agencia Internacional de Energía (AIE), 2018



**Mensaje clave:** Los ahorros acumulados por el uso generalizado de datos digitales y análisis en centrales y redes eléctricas podrían promediar alrededor de USD 80 000 millones por año.

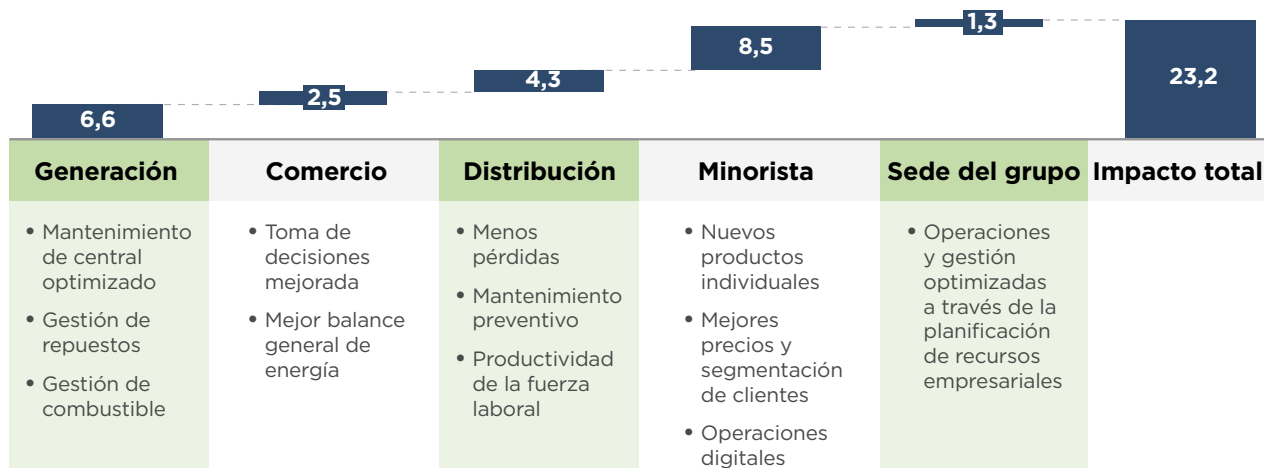
Notas: Se asume el despliegue global mejorado de las tecnologías digitales existentes en todas las centrales eléctricas e infraestructuras de la red; CAPEX: gastos de capital; OPEX: gastos operativos.

31. Digitalización y Energía, Agencia Internacional de Energía (AIE), 2018

32. The digital utility: New opportunities and challenges (El servicio público digital: nuevas oportunidades y desafíos), Booth, Mohr & Peters, 2016

Figura 17: Impactos positivos de la digitalización en las ganancias de los servicios públicos

**La digitalización tiene un impacto demostrable en las ganancias de los servicios públicos.**

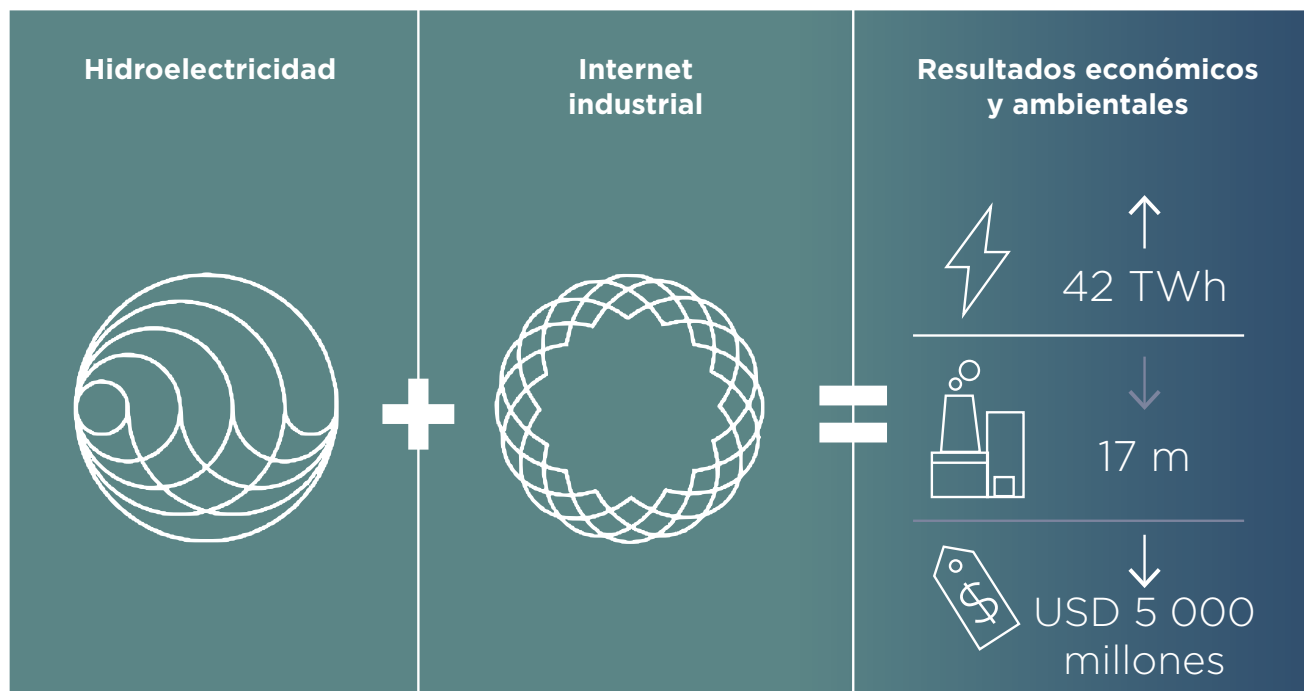


Fuente: Booth, Mohr y Peters, 2016

Si observamos la industria hidroeléctrica y digitalizamos la capacidad instalada de 1225 GW del mundo de acuerdo con un estudio de 2017 realizado por General Electric (GE) e IHA, esto podría equivaler a un aumento de 42 TWh de generación eléctrica incremental. Esto daría lugar a un ahorro en operaciones de USD 5000 millones por año y una reducción de 17 toneladas métricas de emisiones de dióxido de carbono<sup>33</sup>. Este ahorro es un número global proveniente de todas las herramientas de digitalización, pero si solo observamos una herramienta en particular, los ingenieros de GE indican que las aplicaciones inteligentes de monitoreo del estado pueden ahorrar hasta USD 4000 por MW por año en costos de mantenimiento reducidos, mejora de la vida útil de los activos y aumento de la eficiencia operativa. GE indica que su primer cliente de "central hidroeléctrica digital" está experimentando una mejora de la confiabilidad del 1 %<sup>34</sup>. En el taller sobre digitalización de Salto Grande, celebrado en agosto de 2018, se presentaron detalles adicionales de GE en la ejecución de soluciones digitales para empresas hidroeléctricas en todo el mundo. Esto se muestra en la figura 19. Esta figura muestra qué desafíos estaba tratando de resolver cada empresa, qué tipo de solución se implementó y los resultados que se obtuvieron.

Figura 18: Aspectos financieros de la digitalización de la energía hidroeléctrica

Fuente: Hydropower's Digital Transformation (Transformación digital de la energía hidroeléctrica), GE Renewable Energy. Julio de 2017



Estas aplicaciones digitales obviamente involucran una inversión, pero cada solución o herramienta tiene un costo diferente según la magnitud. Por ejemplo, el uso de una impresora 3D para crear un brazo mecánico para que los técnicos de la central eléctrica no tengan que arriesgar su seguridad en procedimientos estándar supone un costo de alrededor de USD 300 a USD 4000. En otro caso, Enel Green Power en 2016 lanzó un proyecto llamado Big Data Hydro con una inversión de 2,5 millones de euros para una iniciativa que tiene como objetivo mejorar y maximizar toda la flota hidroeléctrica de EGP mediante la optimización de la operación y también mediante la identificación de posibles fallas tempranas a través del uso del análisis estadístico. Como se indicó en los capítulos anteriores, la mayoría de las empresas generadoras hidroeléctricas de ALC ya se encuentran implementando algún tipo de herramienta de digitalización. Sin embargo, hasta ahora no se puede dar una cifra consolidada con respecto a los costos y los ahorros, ya que diferentes áreas de negocios en la misma empresa están implementando distintas iniciativas al mismo tiempo, y aún faltan experiencias a largo plazo.

35. <https://www.enelgreenpower.com/stories/a/2017/09/the-future-of-hydroelectric-is-digital->

Figura 19: Desafíos, soluciones digitales y resultados de centrales hidroeléctricas

Fuente: Digital Innovation for the Hydropower generation market (Innovación digital para el mercado de generación hidroeléctrica), GE Renewable Energy Hydro, 2018

	BC Hydro	EDSB	EDP
Desafío	<ul style="list-style-type: none"> <li>Centrales hidroeléctricas antiguas que se acercan al final de su vida útil: límites en CAPEX para reemplazar y renovar</li> <li>Nueva forma de operar centrales como aquellas para el consumo de punta o las que cuentan con condensadores síncronos</li> <li>Cuestiones relacionadas con la transferencia de conocimientos (fuerza laboral compuesta por ingenieros con mucha experiencia y con muy poca experiencia, escasa fuerza laboral de mediana edad)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Un tiempo entre revisiones (TBO) extendido reduce el tiempo medio de reparación (MTTR)</li> <li>Determinar con precisión la gravedad de los cojinetes calentados de forma remota</li> <li>Transformación de las operaciones de carga base en flexible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejorar el uso y el rendimiento de los activos críticos de energía de manera segura y sin degradar la tasa de interrupción forzada (EFOR)</li> <li>Mejorar la eficiencia operativa</li> <li>Romper los silos entre las áreas de la empresa al compartir datos en tiempo real sobre activos de generación de energía en todos los equipos de Operaciones, Mantenimiento y Comercialización EDP</li> <li>Construir un centro de monitoreo remoto de múltiples flotas</li> </ul>
Solución	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión de la confiabilidad en la nube de MP implementada en centrales hidroeléctricas de más de 20 MW. Seguimiento de cambios en la condición de los equipos. 9000 etiquetas monitoreadas y 260 diagnósticos, escalamiento de prioridad automática (5 a 1)</li> <li>Ayudar a los ingenieros de mantenimiento en las instalaciones de generación eléctrica a optimizar y planificar el mantenimiento preventivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>APM Machine &amp; Equipment Health con conectividad remota y en tiempo real al Centro GE en Grenoble, Francia</li> <li>Sistema de adquisición y procesamiento de datos con 11 sensores y 30 IHM locales para procesar datos de 2 TB por mes</li> <li>Diagnóstico automatizado, pronósticos de vida útil, y supervisión de la vib.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementación de RM Cloud Analytics en 56 unidades (25 modos de falla)</li> <li>Implementación de Edge Platform en 28 unidades críticas (21 modos de falla)</li> <li>Piloto para la optimización de la estrategia de activos (1 central hidroeléctrica)</li> <li>Extensión de carga parcial (5 unidades, Francis y Kaplan) con visualización de gráficos de riesgo en tiempo real</li> </ul>
Resultado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Notificación temprana de fallas catastróficas (USO 200k-1 M/año)</li> <li>Reducción de las interrupciones forzadas</li> <li>Elevar el nivel de conocimiento sobre el equipo de la central y su estado</li> <li>Optimizar las actividades de mantenimiento (de basadas en el tiempo a basadas en el estado)</li> <li>Ganancias de eficiencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diagnóstico preciso del desplazamiento radial del eje, sin golpes ni roces; probablemente debido a parámetros externos</li> <li>Cojinete declarado seguro; sin inspección o parada de la máquina • Se evitan pérdidas de producción de USD 5 000</li> <li>Se evitan costos de inspección de USD 3 200</li> <li>-1 % más de disponibilidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducir la pérdida de producción por causas internas en un 24 %</li> <li>Disminuir los costos de mantenimiento preventivo en un 10 %</li> <li>Aumentar los ingresos de servicios de ajuste (red o cartera) en un 2 %</li> </ul>



## 7. PRINCIPALES BARRERAS Y DESAFÍOS PARA INCORPORAR LA DIGITALIZACIÓN

## 7.1

### **BARRERAS Y DESAFÍOS PARA LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR ENERGÉTICO**

Las principales barreras y desafíos para incorporar la digitalización se pueden clasificar como aspectos culturales (y, por lo tanto, índices de adopción de tecnología), brechas de habilidades, aspectos regulatorios y preocupaciones de seguridad.

#### **Infraestructura insuficiente**

El principal requisito para la digitalización es la adecuación de la infraestructura energética o de TI existente en el país. La falta de cualquiera de estos requisitos representaría una barrera importante.

#### **Costos y disponibilidad de la tecnología**

Dado que las tecnologías de digitalización son relativamente nuevas en la mayoría de los países de ALC en comparación con Europa, Estados Unidos o China, la disponibilidad y el costo de la tecnología pueden dificultar el desarrollo digital.

#### **Aspectos regulatorios**

Las regulaciones actuales podrían impedir la implementación de las innovaciones o las nuevas tecnologías. Además, el diseño de las nuevas regulaciones también puede plantear barreras para la transformación digital de diferentes tipos de generación, según la asignación desigual de los subsidios, el diseño deficiente de los mercados que no admiten la flexibilidad suficiente, etc.

#### **Brechas de habilidades**

El ritmo acelerado de las mejoras tecnológicas requiere un nivel superior de conocimiento y experiencia de TI en particular, no solo para el diseño y la implementación de las tecnologías digitales, sino también para la operación de los activos y las organizaciones; asimismo, se requiere una mejora continua para mantenerse al día con el ritmo de la digitalización.

#### **Preocupaciones de seguridad**

La seguridad del sistema energético y el activo de interés son de vital importancia, ya que un ataque cibernético puede afectar no solo a una o más centrales, sino a todo el país. Por lo tanto, las preocupaciones de seguridad pueden ser una barrera tanto a nivel de inversionistas como gubernamental.

#### **Aspectos culturales**

La fuerza laboral existente está preocupada o es escéptica en lo que respecta a la digitalización por una variedad de razones. Hay una falta de comprensión respecto de qué elementos de la digitalización son esenciales frente a los no esenciales y respecto del valor agregado de los controles digitales y los impactos en el personal actual. Esta barrera institucional hará que las organizaciones se retrasen en la adopción de nuevas tecnologías, y podría dar lugar a la pérdida de oportunidades y operaciones ineficientes.

## 7.2

### **BARRERAS Y DESAFÍOS PARA LA DIGITALIZACIÓN DEL SECTOR HIDROELÉCTRICO**

Los aspectos culturales, las brechas de habilidades y las preocupaciones de seguridad mencionadas anteriormente se aplican por igual a todos los tipos de generación eléctrica. Los aspectos regulatorios, por otro lado, varían ligeramente. Como se mencionó anteriormente, los marcos regulatorios pueden suponer barreras para la incorporación de tecnologías innovadoras. Además, se identificaron los desafíos y las barreras más importantes para la implementación de tecnologías digitales en el sector hidroeléctrico de ALC:

## Costos y disponibilidad de la tecnología

- Las tecnologías implementadas podrían no ser adecuadas para el sistema o el equipo de la central hidroeléctrica, y podrían quedar obsoletas rápidamente debido al rápido desarrollo y los cambios en las herramientas digitales.
- El costo de implementación de nuevas tecnologías o sistemas es demasiado alto o no está bien definido y, por lo tanto, existe una mayor dificultad en la toma de decisiones en lo que respecta a la implementación de herramientas digitales.
- La economía del costo incremental debido a la implementación de herramientas digitales es desfavorable.

## Aspectos regulatorios

Para el sector hidroeléctrico, las regulaciones mal diseñadas respecto de subsidios y flexibilidad pueden plantear un desafío considerable contra la digitalización, por ejemplo:

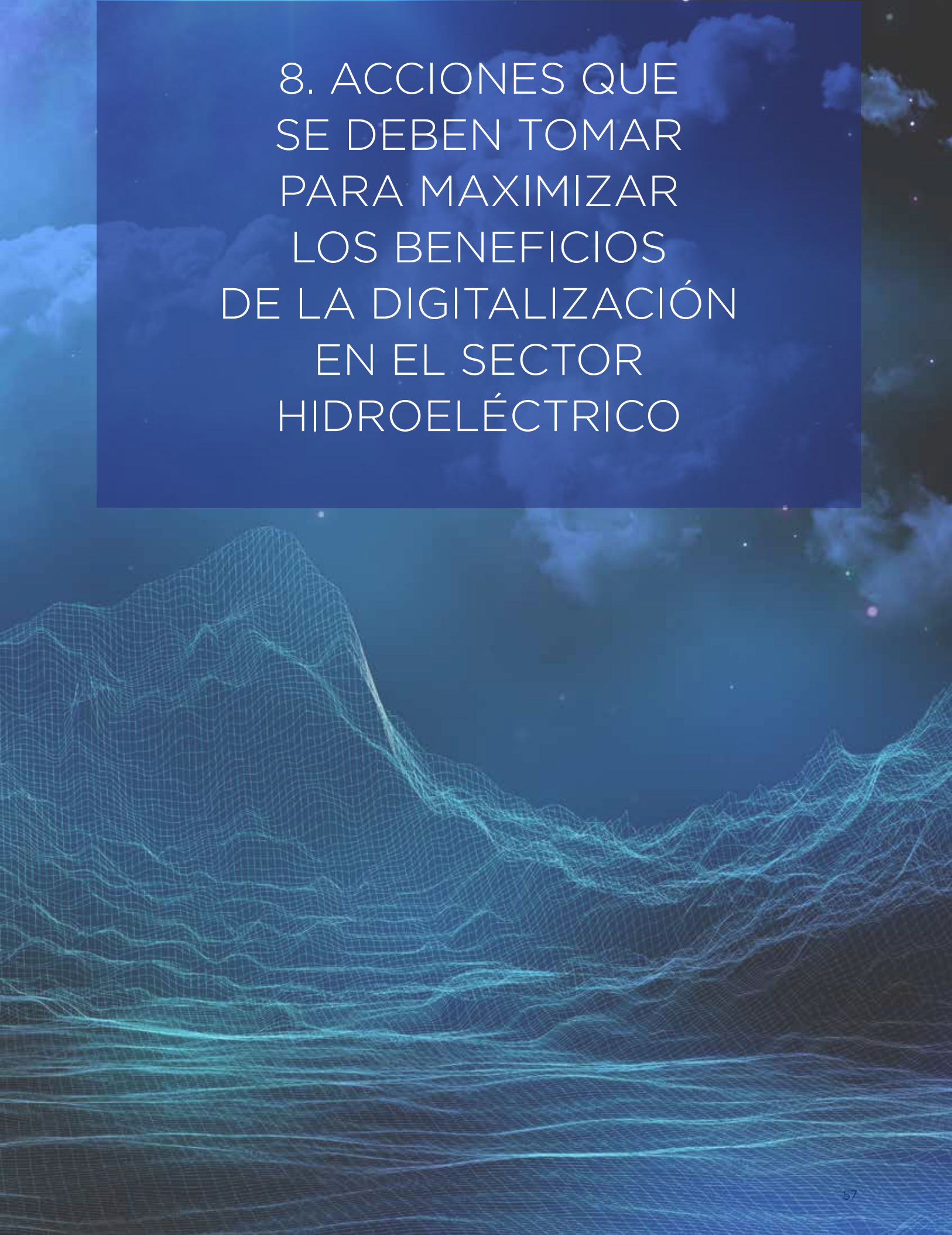
- Las inversiones en energías renovables no convencionales están subvencionadas en un número considerable de países, pero con frecuencia la energía hidroeléctrica no cuenta con el mismo nivel de apoyo que otras tecnologías, como la eólica y la solar. Esto reduciría el interés de los inversionistas por centrarse en el sector hidroeléctrico y, así, invertirían en la digitalización de las centrales hidroeléctricas.
- La energía hidráulica es una fuente importante de generación eléctrica flexible, lo que significa que los propietarios de centrales hidroeléctricas podrían obtener importantes ingresos a partir de dicha flexibilidad. El impacto positivo de la digitalización al aumentar la flexibilidad de la central para optimizar su funcionamiento con respecto al clima y las condiciones del mercado hace que los inversionistas estén interesados en la transformación digital. Sin embargo, un insuficiente valor para la flexibilidad de la energía hidroeléctrica, incluidos (por ejemplo) los mercados diario, intradiario y de equilibrio, y los servicios/sistemas auxiliares basados en el mercado (o basados en el valor), en lugar de que los servicios auxiliares se brinden de manera gratuita o con tarifas reguladas (SRMC) bajo las obligaciones del Código de Red, pueden representar barreras para una mayor digitalización.

## Infraestructura insuficiente, brechas de habilidades y problemas de seguridad

Como se mencionó en secciones anteriores, los países de ALC están en camino hacia el desarrollo de la digitalización a un ritmo diferente; las principales barreras para ellos en el sector hidroeléctrico se han identificado de la siguiente manera:

- Desarrollo de infraestructura, dado que hay más avances implementados en software que en hardware y conectividad, el ritmo del desarrollo de la infraestructura digital es, en general, lento en comparación con la tecnología en rápido cambio dentro de un mundo digital. Esto está influenciado principalmente por la burocracia y la falta de flexibilidad para adaptar los procesos, especialmente dentro de las instituciones gubernamentales.
- Si bien Chile es el país más avanzado en términos de conectividad e implementación de centrales eléctricas totalmente interconectadas, también depende de la infraestructura de comunicaciones públicas o generales donde las empresas privadas no pueden interferir y están sujetas a estas condiciones. Como estas centrales a menudo se encuentran en áreas montañosas remotas, esto puede ser un factor limitante para la digitalización, ya que el costo puede estar fuera de los límites económicos.
- Ciberseguridad: falta de profesionales calificados.
- Acceso a profesionales calificados debido a la falta de currículos universitarios suficientes o adecuados → y adquisición mediante la importación/compra de conocimientos de proveedores externos/extranjeros.
- En comparación con las empresas privadas, principalmente filiales de actores globales en el sector hidroeléctrico, la digitalización para las empresas estatales se vería limitada debido a sus presupuestos restringidos y la falta de transferencia de tecnología, como ocurre generalmente en las empresas privadas.





## 8. ACCIONES QUE SE DEBEN TOMAR PARA MAXIMIZAR LOS BENEFICIOS DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL SECTOR HIDROELÉCTRICO

Según el análisis anterior, es posible identificar algunas acciones clave que deben implementarse para maximizar los beneficios de la digitalización. Estas son las siguientes:

- i) eliminar (o al menos reducir) las barreras a nivel nacional, es decir, garantizar que haya suficiente infraestructura, un diseño de mercado eficiente y un sistema educativo de punta que pueda formar a profesionales equipándolos con las habilidades requeridas;
- ii) eliminar barreras a nivel de la empresa y garantizar la preparación digital a través de una gestión eficiente del cambio;
- iii) crear incentivos regulatorios para compensar adecuadamente la energía hidroeléctrica por los servicios auxiliares y de red adicionales que se requerirán con una mayor penetración de las energías renovables variables.

## 8.1

### ELIMINACIÓN DE BARRERAS A NIVEL NACIONAL

#### Infraestructura

En las últimas décadas, se pudo ver un aumento en las inversiones digitales en la región de ALC. Sin embargo, para impulsar la economía digital y obtener los beneficios de la digitalización, se hará más hincapié en atraer capital privado a través de modelos comerciales atractivos de ahorro de impuestos.

#### Educación

Aunque el sistema educativo en los países de ALC está mejorando en lo que respecta a la digitalización, todavía se necesitan grandes esfuerzos a nivel nacional en la mayoría de los países, que están principalmente relacionados con los aspectos financieros.

Si los países no asignan presupuestos más grandes para la innovación y la tecnología, será muy difícil romper las barreras en el mundo digital. Esto debería ser parte de su política educativa.

#### Diseño eficiente del mercado

Como se mencionó en la sección 7.2, las principales barreras para la digitalización en el sector hidroeléctrico están relacionadas con subsidios desiguales y una flexibilidad infravalorada de la energía hidroeléctrica. Las soluciones para estas barreras incluirían lo siguiente:

- Múltiples mercados temporales con responsabilidad de equilibrio para los participantes
- Precios de desequilibrio marginal que permitan precios de escasez
- Asegurarse de que existan disposiciones adecuadas y pagos basados en el valor de los servicios del sistema/auxiliares
- Asegurarse de que los regímenes de contratación/apoyo de energías renovables no discriminen a los proyectos hidroeléctricos

## 8.2

### ELIMINACIÓN DE BARRERAS A NIVEL EMPRESARIAL

Una transformación digital exitosa requiere de acciones en todos los niveles de las empresas. Los empleados con orientación digital son tan necesarios como el fuerte compromiso de la gerencia. Esta es la base de un programa de cambio cultural y una mentalidad innovadora; y se puede ampliar mediante la capacitación y la contratación de personal adecuado. En el nivel operativo, los procesos empresariales deben adaptarse y digitalizarse, lo que requiere una gestión avanzada y ágil debido a unos desafíos que cambian rápidamente. Si bien las estrategias diferirán entre sectores y actores, algunos componentes clave se aplican de la siguiente manera:



**[1].** Alineación. La estrategia digital debe alinearse con la estrategia comercial general y con los objetivos estratégicos.

**[2].** Priorización. Las empresas deben crear criterios de evaluación y adoptar un enfoque de "aprender rápido, fallar rápido" para seleccionar implacablemente con qué proyectos proceder y cuáles dar por terminado.

**[3].** Sinergias. Es imperativo explotar las sinergias entre las iniciativas al asegurarse de que se sigan protocolos comunes (por ejemplo, en términos de datos y plataformas) para que las iniciativas puedan interactuar entre sí y crear un paquete que ofrezca más valor que la suma de sus partes individuales.

**[4].** Gestión del cambio. Se trata de utilizar el poder del área digital para mejorar los procesos y cambiar la forma en que las personas trabajan juntas. Esto significa elegir el modelo operativo correcto, reclutar personas con las habilidades adecuadas y, en última instancia, inculcar la mentalidad y la cultura correctas.

Algunas de las consideraciones clave para los gerentes de proyectos y tomadores de decisiones que salieron del taller de IHA (Bill Girling) incluyeron lo siguiente:

#### [Involucrar a la alta gerencia en una etapa temprana](#)

Casi todos los componentes de una central hidroeléctrica deberán ser reemplazados o mejorados en algún momento; por lo tanto, para mantener en funcionamiento una instalación hidroeléctrica envejecida, la modernización es un proceso inevitable. El compromiso de la alta gerencia en la primera etapa de la planificación de la modernización es esencial para garantizar que se reconozcan las necesidades operativas y se entiendan bien los riesgos y las oportunidades de la digitalización.

#### [Evaluar los costos, los beneficios y los riesgos del proyecto](#)

Por lo general, los proyectos de modernización buscan mejorar el rendimiento del proyecto, la flexibilidad operativa, la competitividad y la gestión de riesgos. El proceso de toma de decisiones sobre cómo y cuándo modernizarse se ve desafiado en muchas organizaciones por un capital limitado, compromisos debido a proyectos competidores y necesidades de mantenimiento "urgentes". Las herramientas de toma de decisiones digitales, como los gemelos digitales, se pueden utilizar al principio de este proceso para informar y optimizar estas decisiones y reducir el riesgo financiero de mayores inversiones en la modernización.

#### [Tomar en consideración los recursos y prácticas de personal](#)

Es importante tener en cuenta no solo las implicaciones financieras, sino también el impacto posible de la digitalización en los recursos humanos de una central. En otras palabras, ¿cómo afectará la introducción de operaciones remotas, sistemas de monitoreo digitalizado y análisis de datos en los recursos y las prácticas de trabajo del personal? La digitalización puede brindar una oportunidad para reducir los costos de personal de operación y mantenimiento; y, al mismo tiempo, los nuevos procesos requerirán la capacitación del personal existente para proporcionar supervisión o apoyo y garantizar que las habilidades se transfieran desde los operadores experimentados.

#### [Invertir en el desarrollo de las capacidades](#)

Cada sistema digital introducido en una central hidroeléctrica involucra la capacitación de operadores hidroeléctricos nuevos o experimentados y de personal de mantenimiento en nuevos procedimientos para sistemas de control mejorados, equipos de monitoreo, seguridad cibernética, mapeo digital y software de optimización. Sin embargo, es igualmente importante retener la experiencia técnica existente sobre procedimientos de operación y mantenimiento de larga data que seguirán siendo relevantes a medida que se implementen los sistemas digitales más nuevos.

#### [Comprender la digitalización a nivel de las políticas](#)

La decisión de modernizar una central puede optimizar el papel que desempeñará la energía hidroeléctrica en la futura mezcla energética. Es importante involucrar a los formuladores de políticas y a las autoridades regulatorias a nivel del sistema y del mercado; y se debe reconocer que en muchas regiones será necesario desarrollar un plan estratégico para múltiples centrales hidroeléctricas, con la probabilidad, en algunos casos, de una penetración significativa de variables de tecnologías renovables no convencionales, como la eólica y la solar.

## 8.3

### ELIMINACIÓN DE BARRERAS A NIVEL REGULATORIO

La introducción de un nuevo concepto, como en el caso de la digitalización, siempre trae incertidumbre. Sin embargo, muchas empresas y entidades estatales y regulatorias de todo el mundo vienen invirtiendo fuertemente en el desarrollo de nuevas tecnologías y la implementación de tecnologías que han demostrado que funcionan. Sin embargo, esto está sucediendo a un ritmo más lento en la región de ALC.

Existen varias formas de impulsar la digitalización en ALC y, según Pöyry, se pueden mencionar las siguientes con respecto a la eliminación de barreras a nivel regulatorio:

#### Desarrollar plataformas integrales:

Como se sabe, la energía hidroeléctrica no solo contribuye como una fuente de energía renovable, sino que también permite el control de inundaciones, la limpieza de los ríos, la gestión de desastres, las actividades de ocio, el riego y el agua potable en esquemas multipropósito, etc. Para impulsar la digitalización en todos estos diferentes sectores con distintas partes interesadas, se puede adoptar un concepto comprobado proveniente de Finlandia, donde se implementó una plataforma que permite la creación de grupos de trabajo en diferentes temas que combinan los conocimientos del regulador, los proveedores de equipos, las empresas de comunicación, así como las instituciones científicas, como centros de investigación y universidades, que conducen a soluciones "hídricas inteligentes" respaldadas por regulación y legalizaciones actualizadas que, a la vez, eliminan las barreras para implementar sistemas digitales. Al mismo tiempo, esta plataforma puede funcionar como transferencia de conocimiento a los funcionarios que trabajan en las diferentes autoridades y mantenerlos actualizados sobre los desarrollos recientes de la digitalización.

#### Aumentar la flexibilidad en las licitaciones públicas:

Los desarrollos digitales están evolucionando rápidamente y, a menudo, los procedimientos de adquisición que provienen de las autoridades con respecto a la licitación pública no son lo suficientemente flexibles como para permitir la introducción de nuevos sistemas digitales que se desarrollan durante el tiempo en que se hacen públicos los términos de referencia y se finalizan los trabajos licitados. En este contexto, los procedimientos de licitación más flexibles permitirían e incentivarían a las empresas licitadoras participantes a implementar tecnologías de punta que impulsen la velocidad de la digitalización en el sector hidroeléctrico de ALC.

#### Reconocer el valor de la energía hidroeléctrica, es decir, mayor flexibilidad en la operación debido a la implementación de tecnologías digitales:

El valor de la mayor flexibilidad proporcionada por las centrales hidroeléctricas no suele reconocerse en la mayoría de los mercados de ALC; la energía hidroeléctrica tiene que competir en los mismos términos con otras formas de energía renovable, como la eólica y la solar, aunque la energía hidroeléctrica proporciona otros servicios sistémicos, como el control de la frecuencia y el almacenamiento a largo plazo. Además, las centrales hidroeléctricas junto con las soluciones digitales pueden promover un uso más eficiente de los recursos naturales, así como la reducción de gases climáticos, o incluso una mayor eficiencia para un sistema de generación eléctrica completo. Por ejemplo, mediante la implementación de sistemas de pronóstico de flujo, basados en la operación inteligente del sistema mediante big data y herramientas digitales, se puede mejorar toda la operación del sistema. Por lo tanto, los beneficios proporcionados por las centrales hidroeléctricas digitalizadas deben ser reconocidos y el uso de tecnologías digitales debe promoverse mediante regulación modificadas, incentivando o recompensando a las empresas que implementan tecnologías digitales que podrían proporcionar beneficios para todo el sistema.

Al igual que estos ejemplos, los reguladores públicos y privados pueden desarrollar una gran cantidad de ideas para que las centrales hidroeléctricas se dirijan hacia la digitalización.



## 9. CONCLUSIONES



Se pueden extraer algunas conclusiones clave a partir del debate presentado en esta nota.

En primer lugar, desde la perspectiva del desarrollo y la digitalización de la energía hidroeléctrica:

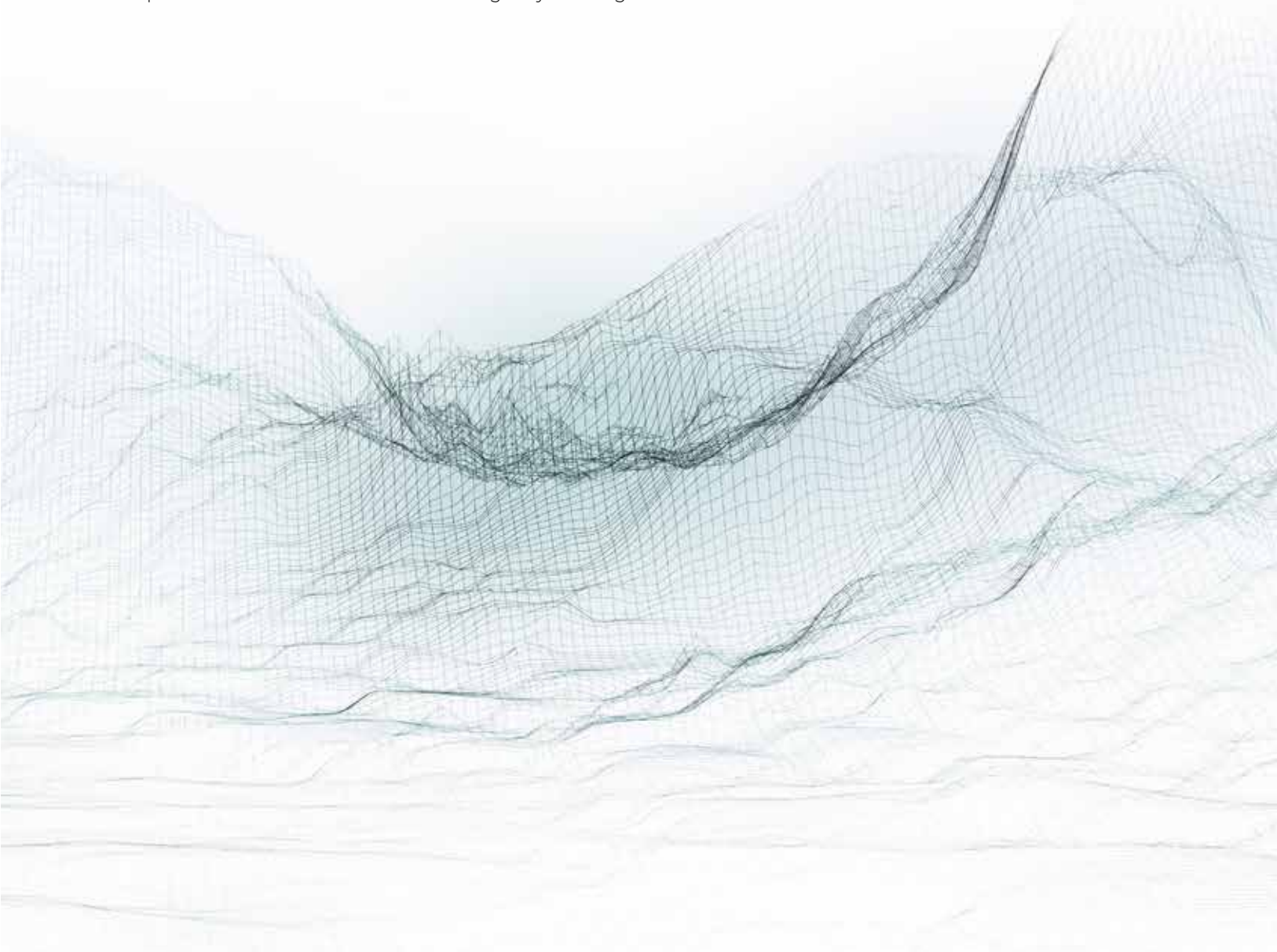
- La energía hidroeléctrica seguirá desempeñando un papel importante en la generación de energía en las próximas décadas en la región de ALC. Por lo tanto, la adopción de tecnologías digitales traerá nuevas oportunidades para su mejora en términos de procesos de toma de decisiones para optimizar el costo de funcionamiento, prevenir cortes de energía y renovar y modernizar centrales antiguas.
- En particular, la energía hidroeléctrica es un facilitador para el despliegue de la generación de energía renovable no convencional, ya que proporciona flexibilidad y capacidades de almacenamiento. La digitalización de las centrales hidroeléctricas más antiguas será necesaria para mejorar el funcionamiento de la energía hidroeléctrica con otras tecnologías variables, lo que mejorará la seguridad y la eficiencia del sistema.
- La gama de aplicaciones de tecnologías digitales en el sector hidroeléctrico es amplia, y abarca todo el ciclo de vida de la central hidroeléctrica (planificación y diseño, construcción, operación y mantenimiento) para cumplir objetivos de alto nivel (seguridad, sostenibilidad y objetivo comercial).
- En general, en la región de ALC, el problema principal para la digitalización de la energía hidroeléctrica es la operación centralizada a través del sistema SCADA: todos los pasos adicionales dentro del mundo digital aún están por delante y podrían implementarse en los próximos años. Sin embargo, existen diferentes operadores de servicios públicos (grandes actores) que van más allá de SCADA, impulsados por necesidades específicas sin tener en cuenta los planes de digitalización, que están llegando más lejos para seguir siendo competitivos en el cambiante mercado de la energía.

En segundo lugar, desde la perspectiva del desarrollo de la digitalización en la región:

- El desarrollo de la digitalización en los países de ALC todavía está por detrás de Europa y EE. UU. Como podría esperarse en una región tan diversa, el desarrollo de la digitalización no es homogéneo. Los principales países de la región en lo que a esto respecta son Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Costa Rica. Se deben aumentar los esfuerzos, particularmente en los países que están rezagados, ya que la brecha digital se amplía año tras año.
- Si se considera que la infraestructura, el capital humano y el marco legal son los principales factores para el desarrollo digital, Chile está liderando el camino hacia la digitalización con el progreso más rápido; y la mayoría de los países dentro de la región de ALC tienen que hacer grandes esfuerzos para alcanzar una ola digital en rápido movimiento y los beneficios que ella implica.
- La región de ALC muestra bajos niveles de inversión en innovación para promover la digitalización a nivel público y privado. Debido al presupuesto limitado y la tendencia hacia procesos burocráticos en todos los niveles estatales, la digitalización en la mayoría de los casos está creciendo más rápido en el sector privado que en el sector público.
- Además, existen barreras culturales para el desarrollo de la digitalización. La fuerza laboral existente está preocupada o es escéptica en lo que respecta a la digitalización por una variedad de razones. Hay una falta de comprensión respecto de qué elementos de la digitalización son esenciales frente a los no esenciales y respecto del valor agregado de los controles digitales y los impactos en el personal actual. Esta barrera institucional hará que las organizaciones se retrasen en la adopción de nuevas tecnologías, y podría dar lugar a la pérdida de oportunidades y operaciones ineficientes.

En resumen, la digitalización se ha convertido en una herramienta poderosa para mejorar los procesos de toma de decisiones en organizaciones que gestionan centrales hidroeléctricas, ya que ayuda a optimizar la gestión de los recursos hídricos. Las tecnologías digitales ahora cuentan con una amplia gama de aplicaciones en todas las etapas de los proyectos hidroeléctricos, desde el diseño y la construcción (mediante el uso de herramientas de simulación digital) hasta la operación y el mantenimiento (mediante la incorporación de herramientas como el aprendizaje automático a través del monitoreo remoto del estado de los activos). La digitalización de las centrales hidroeléctricas trae varios beneficios, que incluyen mayor eficiencia, menores costos y mayor seguridad. Estos beneficios están destinados a los operadores y los propietarios de centrales, pero también a la operación del sistema, ya que la energía hidroeléctrica puede promover un uso más eficiente de todos los recursos energéticos.

Si la región desea aprovechar al máximo sus recursos, reducir las emisiones y mejorar la eficiencia, la digitalización de la energía hidroeléctrica demuestra ser parte de la solución. No obstante, deberán abordarse las barreras clave, que van desde la creación de una "cultura digital" en las empresas eléctricas hasta la mejora de la flexibilidad de los procesos de licitación para permitir la adquisición de soluciones innovadoras. Es importante destacar que las nuevas regulaciones pueden promover una ola de modernización en el sector eléctrico, al reconocer explícitamente el valor de la solución digital y la energía hidroeléctrica en los mercados de la electricidad.







ANEXOS

# ANEXO I:

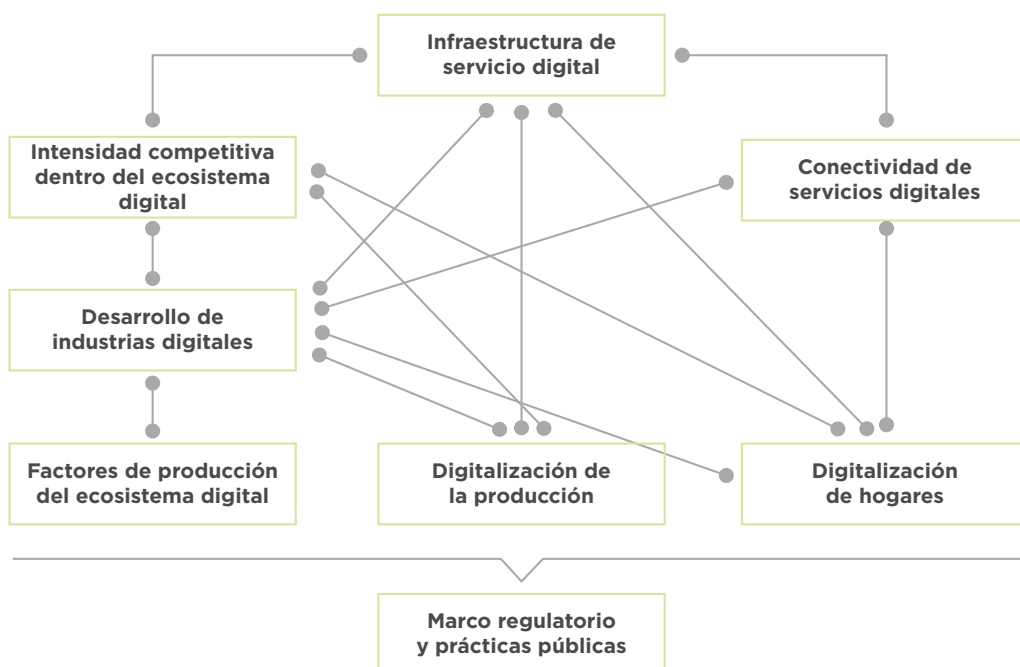
## ÍNDICE DE DESARROLLO DEL ECOSISTEMA DIGITAL: BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA (CAF)

El índice de desarrollo del ecosistema digital desarrollado por CAF se calcula durante un período de 11 años (de 2004 a 2015) y combina 8 patrones principales que constan de lo siguiente:

- Infraestructura de servicios digitales. Redes de telecomunicaciones fijas y móviles que transmiten el tráfico de datos para permitir el funcionamiento del ecosistema digital.
- Conectividad de servicios digitales. Adopción de terminales (teléfonos inteligentes y computadoras) y servicios (banda ancha fija y móvil) que permiten el acceso a la infraestructura de transporte digital.
- Digitalización de los hogares. Uso de plataformas y servicios de Internet por parte de consumidores individuales (redes sociales, comercio electrónico y gobierno electrónico).
- Digitalización de la producción. Adopción de tecnologías digitales por parte de las empresas para aumentar la productividad y la competitividad.
- Desarrollo de industrias digitales. Empresas que proporcionan contenido audiovisual, redes sociales, motores de búsqueda, telecomunicaciones y fabricación de equipos y terminales.
- Factores de producción del ecosistema digital. Capital humano e inversión necesarios para el desarrollo de las industrias digitales.
- Intensidad competitiva dentro del ecosistema digital. Organización industrial y niveles de concentración de los mercados de telecomunicaciones y plataformas de Internet.
- Marco regulatorio y políticas públicas

Figura 20: Índice CAF de desarrollo del ecosistema digital de ALC en 2015

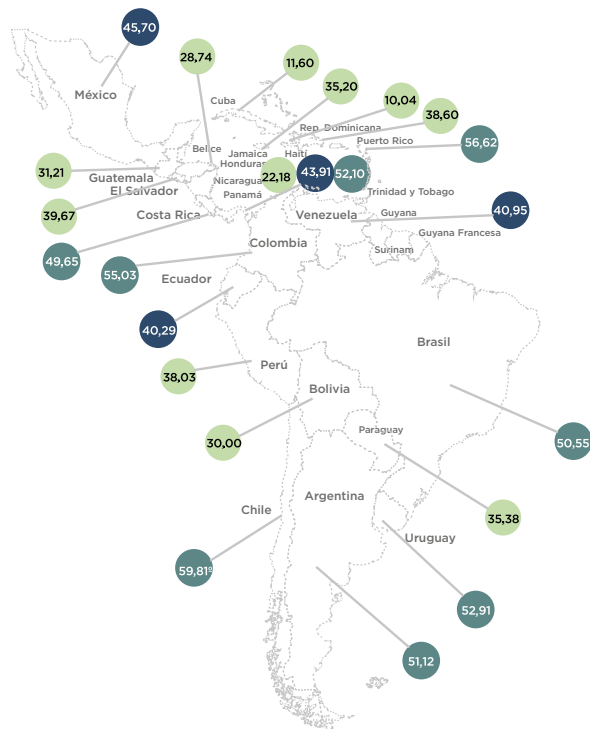
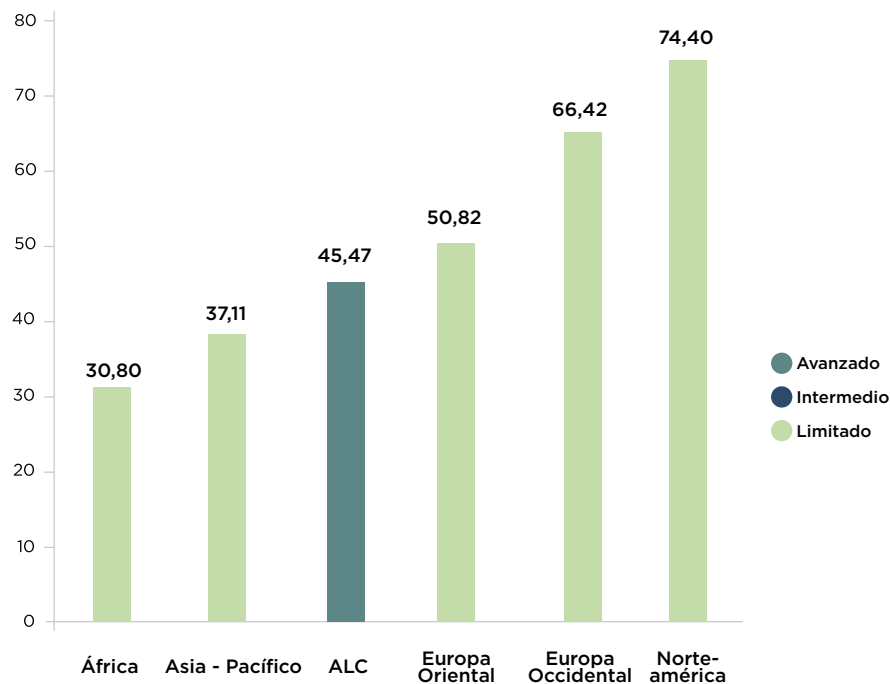
Fuente: BID: <https://cloud.mail.iadb.org/tramites#el-problema-con-los-tramites>



El desarrollo en los países de ALC no es homogéneo. Mientras que Chile, Colombia, Argentina, Brasil y Costa Rica en 2015 habían mostrado un desarrollo más avanzado, Perú, Paraguay y Bolivia se encontraban entre los países menos avanzados con un desarrollo de digitalización limitado. (Consulte la figura 21).

Figura 21: Índice CAF de desarrollo del ecosistema digital de ALC en 2015

Fuente: Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: El Observatorio CAF del Ecosistema Digital (CAF, 2017)



## ANEXO II:

### LOS 3 PILARES PRINCIPALES DE LA DIGITALIZACIÓN

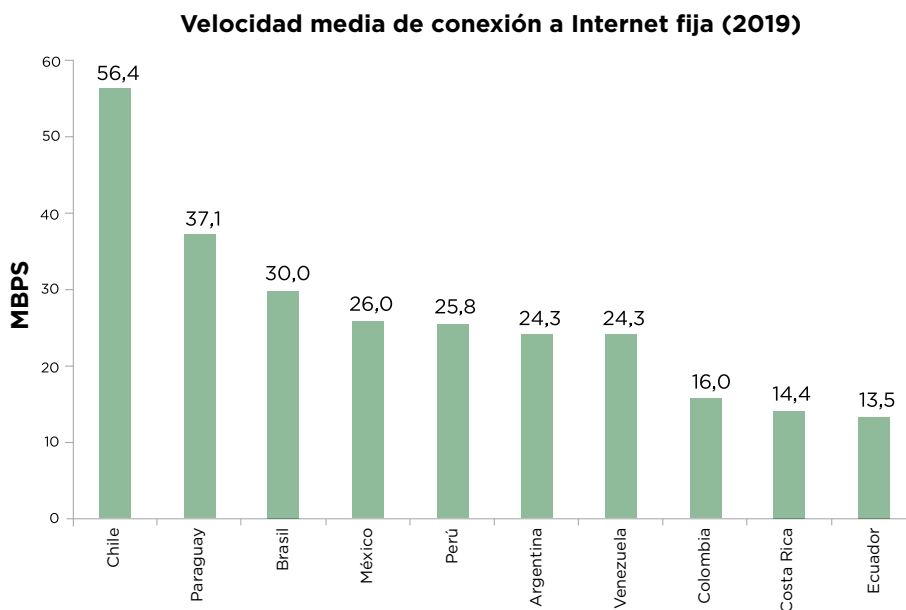
Existen muchos factores en relación con el desarrollo de la digitalización; sin embargo, existen tres (3) factores principales:

#### Infraestructura

Con respecto a la infraestructura, la variable más importante es la conexión disponible a Internet (la conectividad), así como la infraestructura de soporte, que incluye cables de fibra óptica, servidores e incluso conexiones satelitales. En cuanto a los datos reales, Chile lidera ampliamente la implementación de conexiones a Internet de alta velocidad, y a esto también se debe su buen desempeño en la evolución digital. Este tema se tendrá en cuenta al analizar la digitalización de la energía hidroeléctrica en ALC en las secciones posteriores, ya que la falta de infraestructura en sí misma puede ser la razón básica de la digitalización limitada del negocio energético.

Figura 22: Descripción general de la velocidad promedio de la conexión a Internet para países seleccionados (2019)

Fuente: DataReportal: <https://datareportal.com/reports/digital-2019-global-digital-overview>



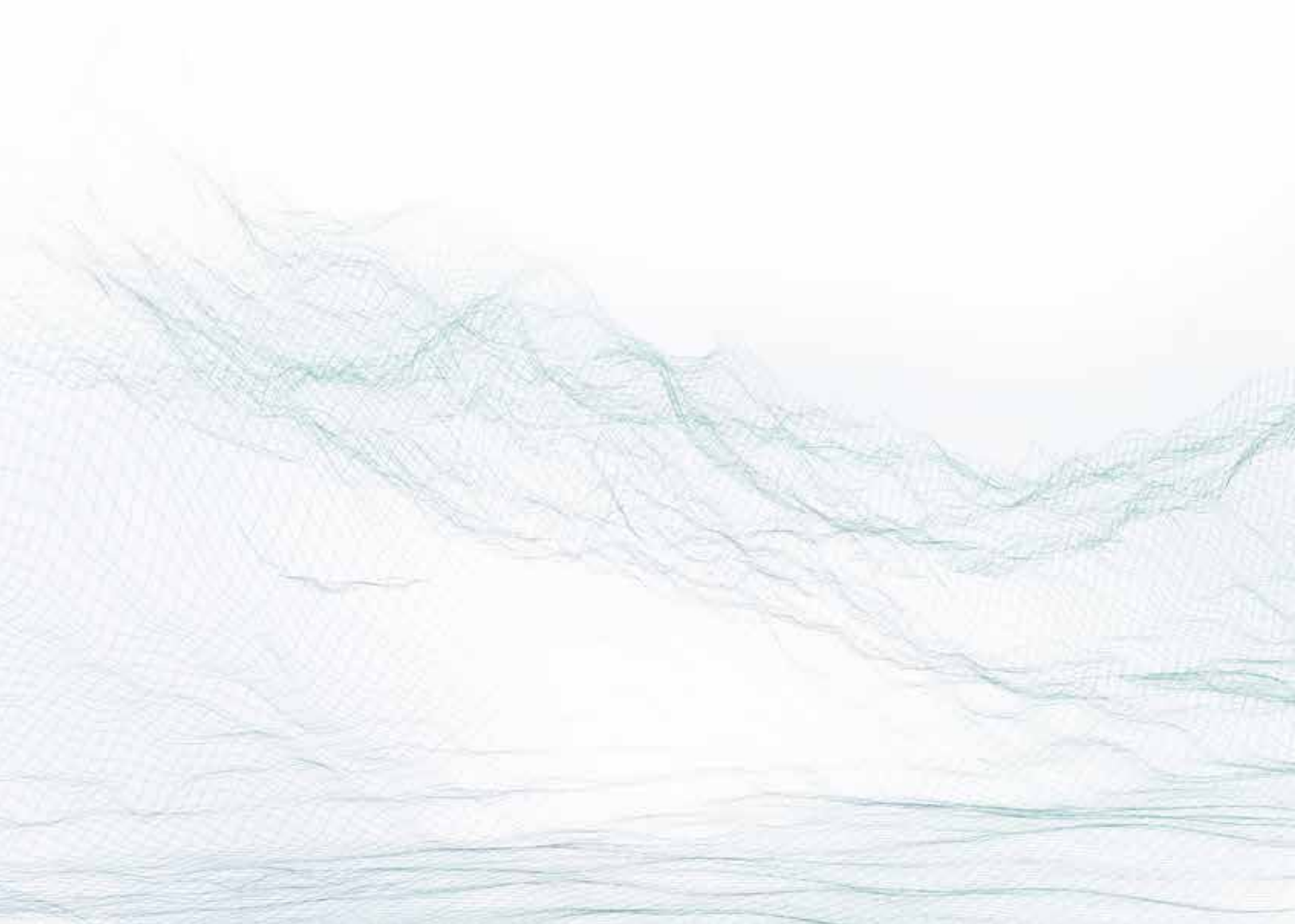
Otra medición importante de una buena infraestructura es la capacidad de las empresas de servicios públicos (o el gobierno) de compartir datos en tiempo real sobre la demanda, el suministro y los cortes de energía. La Encuesta de Gobierno Electrónico de las Naciones Unidas de 2018 muestra que ALC está considerablemente por detrás de Europa y América del Norte en lo que respecta a compartir datos en tiempo real.

### Capital humano

Además del entorno físico básico, el capital humano, que se refiere a la habilidad de los trabajadores para impulsar la transformación digital, la innovación, las patentes y las nuevas empresas, sujeto a una educación adecuada, desempeña un papel importante en el contexto de la evolución digital del sector energético. En términos educativos, ALC ha tenido una mejora significativa entre 2004 y 2015 con un número cada vez mayor de estudiantes universitarios en áreas digitales y un número creciente de computadoras en las escuelas por estudiante. Sin embargo, en términos del porcentaje del PIB gastado en I+D en ALC frente a los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), ALC está muy rezagado con un 0,69 %, en comparación con el 2,17 % en los países de la OCDE en 2015. Con respecto a las carreras que promueven la transformación digital, como la ingeniería, la ciencia y la construcción en ALC, solo 943 de un total de 1 000 000 de habitantes se encuentran estudiando en estos campos; mientras que los números para los países de Asia-Pacífico y de la OCDE son casi tres (3) veces más altos. Entre los países de ALC, solo Chile y Colombia (casi) alcanzan este nivel.

### Marco institucional y regulatorio

Los marcos institucionales y regulatorios son factores clave que facilitan el desarrollo de las industrias digitales, así como para la promoción de la conectividad. En términos de inversión pública y privada para promover la innovación, la producción de innovación local y el desarrollo económico en la región de ALC muestra niveles bajos. En general, la digitalización en el sector privado está creciendo más rápido que en el sector público debido al presupuesto limitado y procesos principalmente burocráticos en todos los niveles estatales.





# ANEXO III:

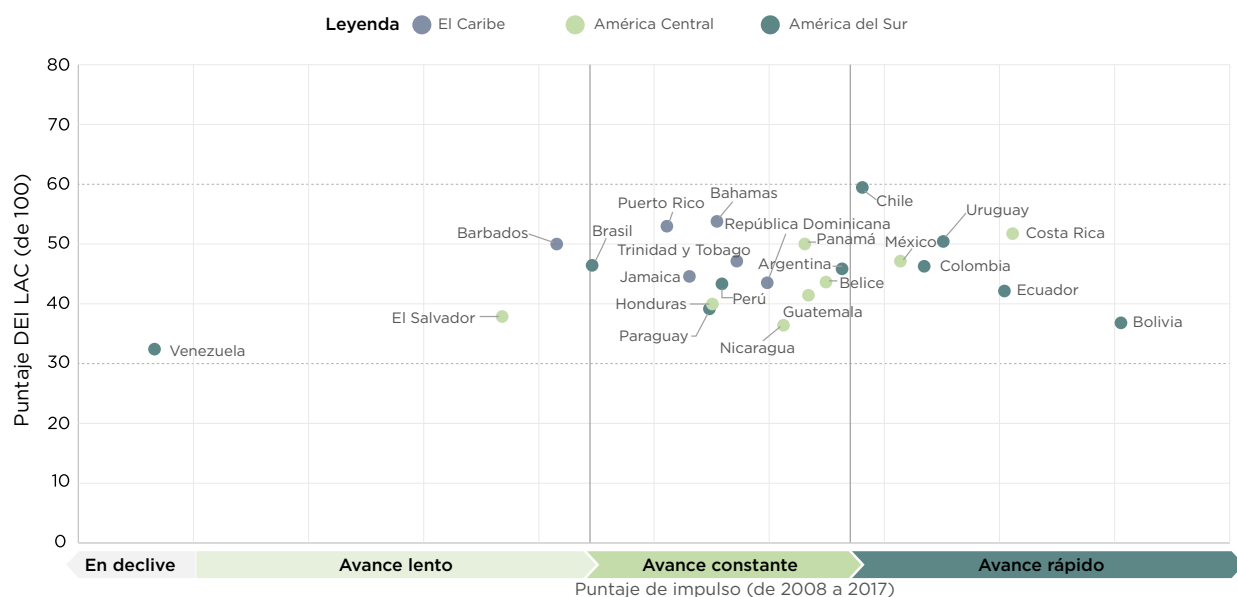
## EL ÍNDICE DE LA EVOLUCIÓN DIGITAL, EDICIÓN PARA LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (DEI LAC)

En general, existen varios índices en publicaciones digitales recientes. Por ejemplo, "El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe (DEI LAC)" es un estudio basado en datos del ritmo de crecimiento digital en 24 países de ALC en los cuatro impulsores clave de la oferta, la demanda, el entorno institucional y la innovación. Utiliza 99 indicadores únicos medidos durante un período de diez años (de 2008 a 2017) para crear un puntaje general de evolución digital y un puntaje de impulso digital.

Según el informe, la región está experimentando un crecimiento digital acelerado. Casi la mitad de los 24 mercados de ALC incluidos en el estudio muestran un impulso moderado. Algunos países avanzan rápidamente: Chile, Costa Rica, Uruguay, México y Colombia lideran el camino, tanto en el estado de la evolución digital como en su tasa de progreso, es decir, el impulso digital. Si bien ALC tiene un enorme potencial para el crecimiento digital de acuerdo con CAF, se encuentra en la banda media de la digitalización a nivel mundial. Los gobiernos y las empresas tienen que hacer mucho más para que ALC avance al estado y ritmo de ejemplos digitales globales como Estonia, Israel, Nueva Zelanda y el Reino Unido, particularmente en términos de mejorar la infraestructura digital, fomentar la innovación, expandir la inclusión digital y financiera, y promover políticas favorables para la economía digital. Existe un importante margen de mejora para la inclusión digital y financiera. Si bien las condiciones de acceso han mejorado en el transcurso de los años, una gran cantidad de personas en la región permanecen desconectadas o poco conectadas, no bancarizadas o poco bancarizadas. Más de un tercio de la región aún no ha experimentado Internet; las mujeres, los adultos jóvenes y el 40 % más pobre de ALC se encuentran entre los no bancarizados, según la encuesta Global Findex 2017 del Banco Mundial. El DEI LAC demuestra que los países de ALC se encuentran en un punto de inflexión crucial: con la combinación correcta de intervenciones de primeras políticas digitales, estímulos de infraestructura de suministro y un impulso para mejorar la inclusión digital y financiera, la región puede desbloquear su verdadero potencial digital.

Figura 23: El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe (DEI LAC)

Fuente: El índice de la evolución digital, edición para Latinoamérica y el Caribe, The Fletcher School, Tuft University. Noviembre de 2018



# ANEXO IV:

## INICIATIVAS DIGITALES EN DIFERENTES PAÍSES DE ALC

Se están llevando a cabo varias iniciativas digitales en la región de ALC, principalmente en el contexto de la medición inteligente, la eficiencia energética y las ciudades inteligentes, como se presenta en la figura 24, que representan ejemplos positivos para futuras inversiones en infraestructura y, por lo tanto, permiten desarrollos adicionales en el mercado de generación de electricidad.

Figura 24: Iniciativas digitales en diferentes países de ALC

Fuente: Energy Markets in Latin America and the Caribbean: Emerging Disruptions and the Next frontier (Los mercados energéticos en América Latina y el Caribe: disrupciones que emergen y la próxima frontera), Banco Mundial, Washington, DC., 2017

País	Iniciativa
<b>Argentina</b>	El <b>sistema de respuesta integrado de Buenos Aires</b> (Centro Único de Coordinación y Control, CUCC) coordina y controla la respuesta de emergencia a través de una plataforma de TIC (2011).
<b>Brasil</b>	El <b>Centro de Operaciones de Río</b> coordina la información y la respuesta de emergencia de múltiples agencias gubernamentales (2010).  Varias ciudades en Brasil usan <b>infraestructura avanzada de medidores (AMI) y alumbrado público eficiente</b> (luminarias led). Electrobras ha instalado 100 000 medidores electrónicos inteligentes en Brasilia para la gestión remota del consumo y de las pérdidas comerciales.
<b>Chile</b>	La <b>política energética 2050</b> establece detalles específicos para el desarrollo de ciudades inteligentes y establece el programa Comuna Energética para ayudar a las comunidades locales a explorar el potencial de eficiencia energética, energía renovable y patrones de consumo sostenibles.  La <b>Fundación País Digital</b> coordina entre actores públicos y privados para promover ciudades inteligentes. Participan 23 municipios, algunos de los cuales ya han desarrollado estrategias y planes energéticos que incluyen energía renovable, iniciativas de eficiencia energética y energía solar fotovoltaica distribuida.  <b>Smart City Santiago</b> es un laboratorio experimental en un complejo empresarial y de edificios residenciales.  <b>Smart City Gran Concepción</b> es el primer piloto de un modelo integral de ciudad inteligente.
<b>Colombia</b>	<b>Medellín Ciudad Inteligente</b> reúne conceptos de sistemas de alerta temprana de emergencia, sistemas de transporte sostenible y plataformas de TIC para monitorear los servicios públicos y el desempeño ambiental local.  La <b>ciudad de Bogotá</b> ha comenzado un sistema integrado de transporte público que incluye sistemas de análisis de datos en tiempo real.
<b>México</b>	La <b>Estrategia Nacional de Calidad del Aire (Visión 2017-2030)</b> incluye entre sus diversos objetivos dos que son relevantes para las ciudades: i) lograr ciudades sostenibles, resilientes, inclusivas y seguras, y ii) garantizar el acceso a energía asequible, confiable, moderna y sostenible para todos.  El <b>Programa de Acción Climática de la Ciudad de México</b> establece objetivos residenciales de reducción de consumo de electricidad y combustible y tiene un Plan Verde cuyo objetivo es asignar el 8 por ciento del presupuesto anual de la ciudad a iniciativas ecológicas.  <b>Múltiples iniciativas de ciudad inteligente</b> han comenzado en Puebla, Guadalajara, Querétaro y Jalisco, algunas de los cuales incluyen redes de energía inteligente, energía limpia y generación distribuida, promoción de movilidad sostenible (por ejemplo, corredores de bicicletas y uso compartido de vehículos), infraestructura para el uso eficiente del agua, plataformas de datos geoespaciales municipales y eficiencia energética en edificios públicos.

# ANEXO V:

## ENERGÍA HIDROELÉCTRICA EN ALC

Al observar la mezcla energética de ALC en general, la energía hidroeléctrica ciertamente jugará el papel principal en la generación de energía durante los próximos 20 años, con un 71 % de relevancia.

Figura 25: Tecnologías con mayor relevancia en la generación de electricidad en 2040 en ALC (encuesta de OLADE)

Fuente: Barómetro de la Energía de América Latina y el Caribe (2018). Las perspectivas del desarrollo del sector energético en la región, OLADE (2018)

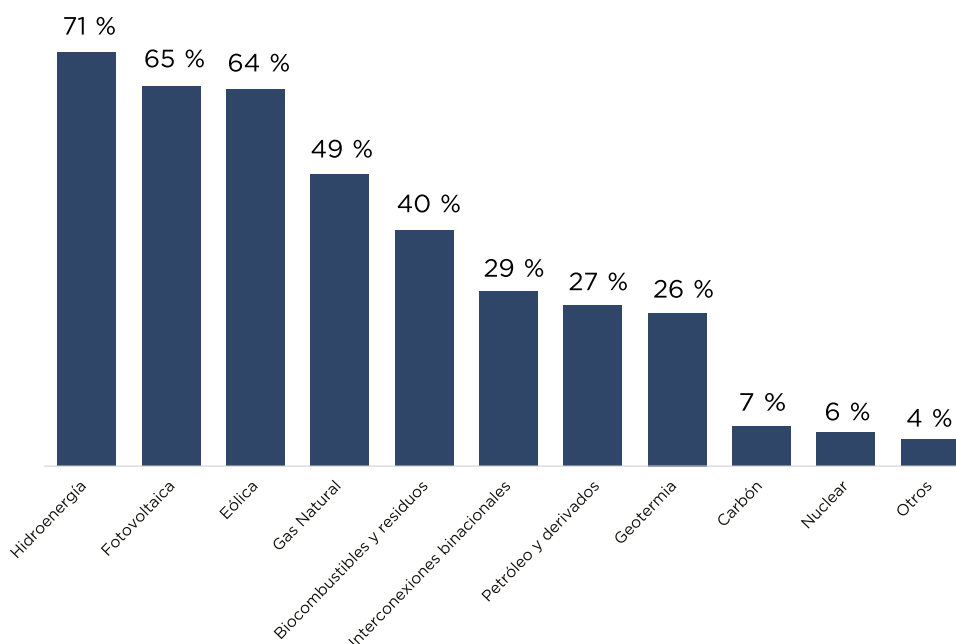


Tabla 1: Capacidad hidroeléctrica en ALC

CAPACIDAD HIDROELÉCTRICA EN ALC (MW)			
PAÍS	2015	2016	2017
ARGENTINA	11 178,00	11 240,00	11 243,00
BARBADOS			
BELICE	54,50	54,50	54,50
BOLIVIA	494,87	494,51	619,40
BRASIL	91 653,20	96 930,00	100 319,00
CHILE	6 523,10	6 657,96	6 669,38
COLOMBIA	11 500,55	11 606,40	11 725,63
COSTA RICA	1 941,70	2 328,05	2 328,11
CUBA	62,80	65,90	65,90
ECUADOR	2 407,61	4 446,36	4 515,96
EL SALVADOR	472,60	472,60	552,00
GRANADA			
GUATEMALA	1 086,97	1 392,29	1 437,68
GUYANA			
HAITÍ	61,00	61,00	61,00
HONDURAS	631,70	670,40	675,80
JAMAICA	29,00	29,00	29,00
MÉXICO	12 489,00	12 589,00	12 642,00
NICARAGUA	137,60	142,45	142,45
PANAMÁ	1 726,00	1 768,70	1 777,30
PARAGUAY	8 810,00	8 810,00	8 810,00
PERÚ	4 151,84	5 189,25	5 245,93
REPÚBLICA DOMINICANA	617,13	617,25	617,38
SURINAM	189,00	189,00	189,00
TRINIDAD Y TOBAGO			
URUGUAY	1 538,00	1 538,00	1 538,00
VENEZUELA	15 136,81	15 136,81	15 136,81
<b>TOTAL</b>	<b>172 893,00</b>	<b>182 429,00</b>	<b>186 395,00</b>

# ANEXO VI:

## ASPECTOS FINANCIEROS Y ECONÓMICOS DE LA DIGITALIZACIÓN

Como se indicó en la sección 1.3, las inversiones y la existencia de una infraestructura adecuada son de importancia crucial cuando se habla de los beneficios de la digitalización. La revisión de CAF (2017) en términos de volumen de ventas y exportaciones para diferentes regiones del mundo, incluida ALC, muestra claramente que la región de ALC tuvo un desempeño bastante bueno en la última década. Sin embargo, ALC comenzó a un nivel bastante bajo en comparación con la OCDE, China e India y, al observar la comparación directa del volumen de ventas y exportaciones, las actividades en ALC representan aprox. el 10 % en comparación con la OCDE. Es interesante mencionar que, en comparación con China, el volumen de servicios de alta gama exportados es de aproximadamente un 50 % mayor que para China, aunque la exportación de productos de alta gama es solo una cuarta parte del volumen de China. Esto puede explicarse debido a que en ALC existe una industria de software bastante bien desarrollada suministrada por hardware que básicamente se fabrica en China; o en otras palabras, que la industria digital en ALC está más centrada en los servicios digitales que en la fabricación.

Tabla 2:

Fuente: Hacia la transformación digital de América Latina y el Caribe: El Observatorio CAF del Ecosistema Digital (CAF, 2017)

2004 a 2015	ALC	OCDE	China	India	ALC a OCDE <sub>2015</sub>	ALC a China <sub>2015</sub>
Ventas en ecosistema digital	+ 136 %	+ 22 %	+ 157 %	+ 127 %	11 %	79 %
Exportación de productos de alta gama	+ 32 %	+ 15 %	+ 226 %	+ 252 %	11 %	25 %
Exportación de servicios de alta gama	+ 336 %	+ 111 %	+ 237 %	+ 269 %	10 %	152 %

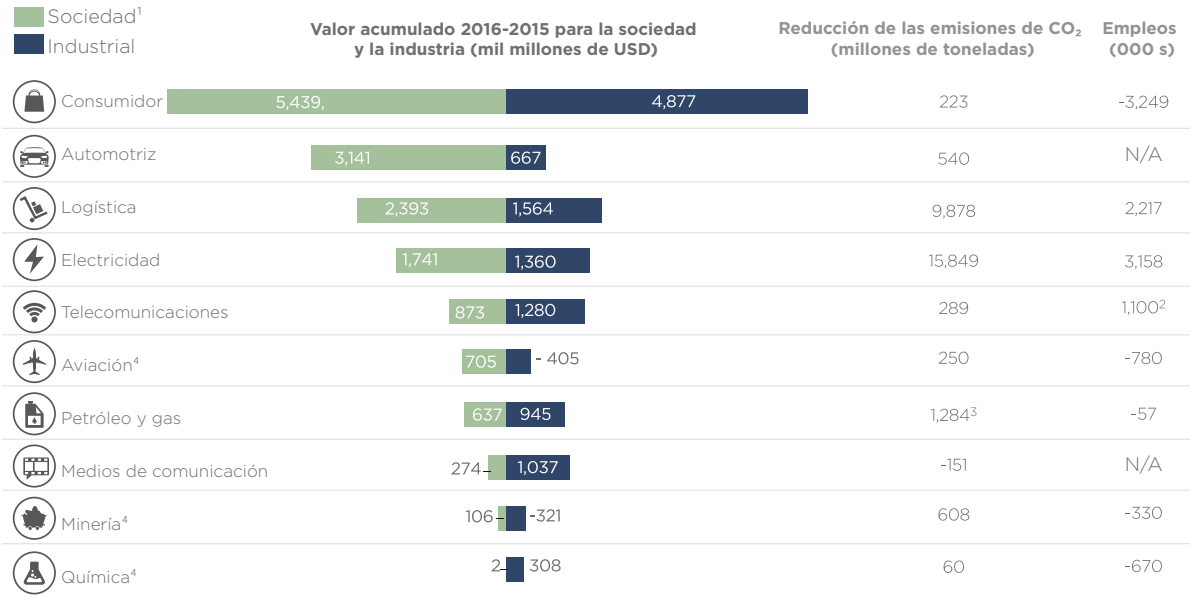
Al observar los resultados del foro económico mundial, un marco económico distintivo ayuda a los líderes empresariales, reguladores y formuladores de políticas a desbloquear un valor estimado de USD 100 billones que la digitalización podría generar en la próxima década.

La figura 25 muestra el valor esperado de la digitalización para la sociedad y la industria de 2016 a 2025. En consecuencia, la digitalización de la electricidad podría desbloquear USD 3,1 billones en valor industrial y social en la próxima década. Los beneficios sociales provienen de la creación de valor para los clientes y una reducción de las emisiones.



Figura 26: Valor de la digitalización para la sociedad y la industria desde 2016 hasta 2025

Fuente: Foro Económico Mundial. Iniciativa de transformación digital. Mayo de 2018



La creación de valor en la industria y en la sociedad en general estará impulsada por cuatro temas principales, a saber, la gestión del ciclo de vida de los activos, la optimización y agregación de la red, los servicios integrados al cliente y “más allá del electrón” (los servicios conectados hiperpersonalizados van más allá de la cadena de valor de la electricidad y se adaptan al consumidor). Seguir los resultados de la gestión del desempeño de los activos será el principal contribuyente de los beneficios digitales para la industria eléctrica. Además, las plataformas de demanda en tiempo real contribuirán significativamente tanto para la sociedad como para la industria en la próxima década (consulte la figura 27).

Figura 27: Valor en juego para la industria y la sociedad en general, por iniciativa digital (acumulado de 2016 a 2025)

Fuente: Foro Económico Mundial. Iniciativa de transformación digital. Mayo de 2018

ELECTRICIDAD

Valor en juego para la industria y la sociedad en general, por iniciativa digital (acumulado 2016-2025)

