

Blockchain en el Sector Energético Mexicano

Impulsando la transformación digital



Editorial

Comisionado y publicado por

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
(GIZ) GmbH
Oficinas registradas en:
Bonn y Eschborn, Alemania

Proyecto

Alianzas energéticas bilaterales en países emergentes y en desarrollo

Contacto

Alianza Energética entre México y Alemania
Av. Insurgentes Sur No. 688, Piso 6, Oficina 602
Colonia del Valle, 03100 Benito Juárez
CDMX, México
+52 55 5536 0330 Ext. 106
www.energypartnership.mx

Francisco Alejandro Contreras del Valle
francisco.contreras@giz.de

Fecha

Octubre 2020

Versión digital

Diseñado por

Sk3 Estudio Creativo, CDMX
www.sk3.mx

Créditos fotográficos

Shutterstock p4. 1474986674 / p5. 1090199027 /
p6. 60505837 / p8. 741286714 / p12. 1464963041 / p17.
1006139380 / p19. 635182691 / p29. 686728954 / p31.
PF. close-up-process-new-printing-technology / P33.
FP business-administrator-action / p34. 1382663033 /
p39. 1382663069 / p40. 773006551 / p49. 1171380154 /
p51. 588093767 / p52. 143111598 / p53. 602578049 / p54.
741657730 / p55. 677922763 / p56. 1087535381 / p58.
100401259 / p59. 462658072 / p62. 373393660 / p77. FP bu-
sinessman-using-digital-network / p78. 528985435 / P84.
FP 3d-illustration-digital-block-chain / p91. 1060540226 /
p93. 1115925887 / p96. FP warehouseman-with-protective /
P97. golden-bitcoin-computer-chip / p98-p99 1029377662
/ p100. 1375623947 / p103. 382980877 / p105. 618418115 /
p106. 776502385 / p108. 272907596 / p111. 691949200 /
p112. 1038891523

Todos los derechos reservados. El uso de este documento y/o sus contenidos está sujeto a la autorización del Secretariado de la Alianza Energética entre México y Alemania (AE).

Los contenidos de este reporte han sido preparados tomando en consideración fuentes oficiales y de información pública. Las aseveraciones y opiniones expresadas no necesariamente reflejan las políticas y posturas oficiales del Secretariado de la AE, del Ministerio Federal de Economía y Energía de la República Federal de Alemania (BMWi) y de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Agradecimientos

La Alianza Energética entre México y Alemania agradece la participación y el entusiasmo de todas y todos los expertos consultados durante la preparación de este estudio.

Agradecimientos especiales:

Juan Roberto Lozano, Director de Asuntos Internacionales y Gubernamentales del Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)

Luis Guillermo Pineda, Comisionado de la Comisión Reguladora de Energía (CRE)

José Aparicio, Presidente y CEO de Siemens Energy México, Centroamérica y el Caribe

Rubén Cruz, Socio líder de Energía en KPMG México

Hansel Moska, Socio de Modeling, Valuation & Analytics en KPMG México

Oscar Silva, Socio Líder de Estrategia en KPMG México

Michael Lebbon, Cofundador de Emmi

Nayam Hashiro, Director de Alianzas Blockchain de Corda para Latam en R3

Nikolaj Martyniuk, CEO y cofundador de WePower Network

Ole Langniss, CEO y copropietario en OLI Systems GmbH

Richard Plum, Presidente de la Alianza Alemana de Energía-Blockchain y Analista Financiero Senior en Procom

Wilfried Pimenta, Director de desarrollo de negocios y jefe de energía en la Fundación IOTA

Agradecimientos al equipo KPMG

José Luis González, Líder de Blockchain y Criptoactivos en KPMG México (Blockchain)

José Manuel Lasso, Especialista de Energía y Estrategia en KPMG México (Energía)

José Nahúm Cortés, Director de Estrategia en KPMG México (Digitalización)

Agradecimientos para el sector energético:

Angélica Quiñones, Presidenta de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES)

David Ricardo Sol, Automatización industrial y datos en BASF

Francis Pérez, Fundadora y CEO de Radamasa Desarrollo Sostenible

Javier Salas, Desarrollador de proyectos en Energía Aljaval

Karla Cedano, Jefa de Gestión Tecnológica del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Nicolò Rossetto, Investigador de energía y clima en la Escuela de Regulación de Florencia (FSR)

Pablo Anzorena, Coordinador del Comité de Finanzas en la Asociación Mexicana de Empresas de Hidrocarburos (AMEXHI)

Agradecimientos para el sector digitalización:

Arturo Duhart, CEO y fundador en Sunwise

Ben Hertz-Shargel, Director de Data Science y Gestión de la Demanda en Rhythm Energy

Douglas Miller, Director de Desarrollo de Mercado en Energy Web Foundation

Elizabeth Massey, Jefa de Investigación en el Centro Internacional de Investigación Energética (IERC)

Emma Díaz Ruiz, Especialista en ventas globales y estrategia de digitalización en Siemens Energy

Gerónimo Martínez, CEO y cofundador de S2G Energy

José Miguel Bejerano, Especialista en Desarrollo de Negocios en Siemens Energy

Kira Potowski, Jefa del Departamento de Comercio e Inversión / Consultor de Eficiencia Energética y Energías Renovables en la Cámara de Comercio e Industria Mexicano-Alemana (CAMEXA)

Meerim Ruslanova, Analista regulatorio en Energy Web Foundation

Moisés Rosado, Consultor de Blockchain y energía

Sean Ratka, Asociado de programas en la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)

Agradecimientos para el sector Blockchain:

Christine To, Directora de Alianzas en Stellar Development Foundation

Dietrich Korb, CEO y cofundador en Ignus Energy

Eduardo Rodríguez, Presidente de FlatStone Capital Advisors Inc. y Asesor de Lumit

Fernando Vera, CEO y cofundador en Lumit

Contenido

Editorial

Resumen Ejecutivo	4
1. Introducción	7
1.1 Contexto General y Justificación del Reporte	7
1.2 Metodología	8
1.3 Estructura del Reporte	10
2. Sector Energético Mexicano	13
2.1 Cambios, Panorama Actual y Comparación Internacional	13
Cambios Recientes en el Sector Energético Mexicano	13
Panorama Actual del Sector Energético Mexicano	14
Comparación del Sector Energético Mexicano con Otros Países	17
2.2 Sector Eléctrico Mexicano	19
Actores Clave del Sector Eléctrico Mexicano	19
Sector Público	21
Sector Privado	22
Mercado Eléctrico Mayorista	23
Mercado PPA	25
2.3 Consideraciones y Oportunidades Clave de la Industria	25
Objetivos de Sostenibilidad y Cambio Climático	25
Dirección del Sector en Términos Regulatorios	26
Tendencias y Retos del Sector Energético Mexicano	26
Digitalización en el Sector Energético	28
3. Tecnología Blockchain	35
3.1 Contexto General	35
3.2 Conceptualización de la Tecnología	35
Componentes Habilitadores de la Tecnología Blockchain	35
Entendimiento Básico de Funcionalidades Blockchain	36
Introducción a la Tecnología Blockchain	36
3.3 Estado Actual	37
Los Inicios de Blockchain	37
Evolución de Blockchain	37
Paradigmas importantes: Bitcoin y Ethereum	38

Panorama Actual de la Tecnología Blockchain	39
Panorama Actual de Plataformas Blockchain	40
3.4 Definición de Principios Generales	42
Fundamentos Blockchain	42
Conceptos Clave	42
Criptomonedas, Tokens & ICO's	43
Contratos Inteligentes	45
Principales Beneficios y Ventajas de la Tecnología Blockchain	46
Principales Retos y Obstáculos de Blockchain	47
3.5 Arquitectura Blockchain	48
Categorías de Blockchain	48
Algoritmos de Consenso	49
3.6 Criterios para la Adecuación Tecnológica	51
Preguntas Clave Para Identificar Oportunidades de Aplicaciones Blockchain	51
Aplicaciones Generales de Blockchain	53
El Rol de Consorcios	54
4. Blockchain en el sector energético	57
4.1 Principales Actores y sus Roles	57
4.2 Retos y oportunidades del sector	60
4.3 Tecnologías Adicionales a Considerar	64
4.4 Modelos de Negocio Blockchain Emergentes en el Sector Energético	65
Trazabilidad & Transparencia	67
Descentralización de Mercado	69
Finanzas & Pagos	70
IoT & Dispositivos Inteligentes	71
4.5 Aplicaciones de Blockchain Existentes en el Sector Energético	72
Casos de Uso Blockchain a Nivel Internacional	76
4.6 Casos de Uso Potenciales para México	79
4.7 Aplicaciones identificadas Dentro del Sector Energético Mexicano	82
4.8 Principales Impactos y Cambios para el Sector	93
4.9 Riesgos y Estrategias de Mitigación	95
5. Consideraciones, Recomendaciones y Conclusiones	101
5.1 Consideraciones	101
5.2 Recomendaciones	104
5.3 Conclusiones	107
6. Bibliografía	113
6.1 Fuentes Primarias	113
6.2 Fuentes Secundarias	113

Acrónimos

AI:	Inteligencia Artificial	IRENA:	Agencia Internacional de Energías Renovables
Address:	Secuencia de números y letras utilizados para enviar y recibir información sobre la cadena de bloques	Km:	Kilómetro
AML:	Anti lavado de dinero	KPIS:	Indicadores clave de rendimiento
AMLO:	Andrés Manuel López Obrador (Presidente de México)	Empresa mediana:	Empresas con ventas de hasta 6,500 millones de pesos y hasta 250 empleados
ANES:	Asociación Nacional de Energía Solar	MEM:	Mercado mayorista de electricidad
API:	Interfaz de programación de aplicaciones	MIEM:	Ministerio de energía, minería e industria de Uruguay
Blockchain:	Es un registro distribuido que permite un nuevo mecanismo de confianza para el almacenamiento de información	Minando:	La acción de validar y autorizar transacciones o nuevos bloques
BTC:	Bitcoin	Mw:	Megawatt
B2B:	De negocio a negocio (Business to Business)	Mwh:	Megawatt hora
B2C:	De negocio a consumidor (Business to consumer)	MXN:	Pesos mexicanos
CBDC´s:	Moneda digital de un banco central	M2M:	De máquina a máquina
CENACE:	Centro Nacional de Control de Energía	ONG:	Organizaciones no gubernamentales
CENAGAS:	Centro Nacional de Control del Gas Natural	Nodos:	Los participantes tienen acceso a un registro distribuido
CEL´s:	Certificados de Energías Limpias	OCDE:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
CFE:	Comisión Federal de Electricidad	ONU:	Organización De las Naciones Unidas
CFT:	Lucha contra el terrorismo financiero	O&M:	Operaciones y mantenimiento
CH₄:	Metano	PEMEX:	Petróleos Mexicanos
CRE:	Comisión Reguladora de Energía	PETE:	Programa Especial de Transición Energética
CONACYT:	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	PML:	Precio Marginal Local
CONUEE:	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía	PoC:	Prueba de Concepto
COP21:	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	PPA:	Acuerdos de compra de energía
CO₂:	Dióxido de Carbono	Ppm:	Partes por millón
CRE:	Comisión Reguladora de Energía	PRODESEN:	Programa del Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional
DApps:	Apps Descentralizadas	PRONASE:	Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía
DAO´s:	Organización autónoma descentralizada	PoW:	Prueba de Trabajo
DAICO:	Oferta de Moneda Autónoma descentralizada	PV:	Fotovoltaico
DER:	Recursos de Energía Distribuida	P2P:	par a par
DFT:	Derechos financieros de transmisión	RPA:	Automatización robótica de procesos
DLT:	Registro distribuido	SDG:	Metas de desarrollo sostenible
DOF:	Diario Oficial de la Federación	SEN:	Sistema Nacional de Electricidad
D&A:	Análisis de Datos	SENER:	Secretaría de Energía
ERC:	Entidades responsables de carga	SISTRANGAS:	Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural
ETH:	Ether	STO:	Oferta de token de seguridad
EVs:	Vehículos eléctricos	Twh:	Terawatt hora
Gwh:	Gigawatt hora	UNFCCC:	Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático
Hash:	Código predeterminado obtenido a través de técnicas criptográficas	UTE:	Administración Nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas de Uruguay
ICO:	Oferta Inicial de Monedas	USD:	Dólares Americanos
IEA:	Agencia Internacional de Energía	Wallet:	Se utiliza para almacenar y transferir activos digitales
IEO´s:	Ofertas de intercambio inicial	3Ds:	Descarbonización, Descentralización y Digitalización
IoT:	Internet de las cosas		
IPO´s:	Oferta Pública Inicial		

Resumen Ejecutivo

El principal objetivo de este reporte es proporcionar información sobre el papel de la digitalización en la transición energética, centrada en el potencial de la tecnología Blockchain. El documento está dirigido a lectores interesados en la adopción de tecnologías digitales en el Sector Energético Mexicano. Por lo tanto, incluye una visión general del sector y la tecnología Blockchain, buscando otorgar a las partes interesadas de ambos campos las herramientas necesarias para que puedan evaluar las posibles aplicaciones de Blockchain en la industria.

Este enfoque es esencial para que los expertos en energía entiendan la tecnología a nivel ejecutivo, al tiempo que permite que los especialistas de Blockchain que no están familiarizados con el mercado local identifiquen áreas de oportunidad para diseñar, probar e implementar soluciones.



Adicionalmente, un análisis en profundidad de la adopción de Blockchain dentro del sector energético incluirá información clave sobre cuándo la tecnología se vuelve relevante para la industria. Los aspectos clave cubiertos en este respecto son: los principales actores del sector energético y el ecosistema Blockchain (junto con sus roles potenciales); desafíos que enfrenta actualmente la industria y cómo Blockchain podría servir como una herramienta para superarlos; tecnologías complementarias que pueden agregar más valor a Blockchain creando sinergias; modelos comerciales emergentes de Blockchain y aplicaciones existentes para el sector energético; una selección de casos de uso identificados aplicables al mercado mexicano; principales impactos y cambios que vienen junto con una adopción tecnológica de esta naturaleza; y finalmente, los principales riesgos a considerar al definir una estrategia de Blockchain acompañada de estrategias de mitigación para abordarlos. A continuación, se presentan los hallazgos clave incluidos en el reporte:

Hallazgos clave

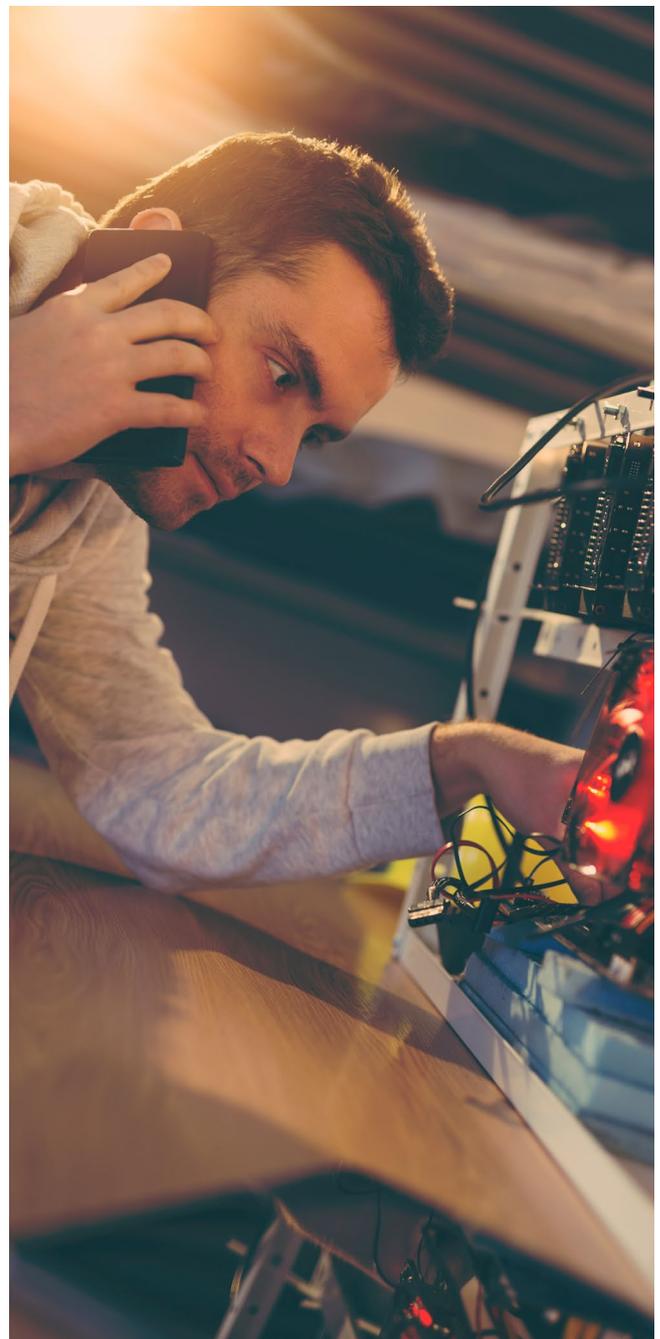
- Actualmente, el sector energético está experimentando cambios significativos impulsados por tres tendencias clave en la industria: descarbonización, descentralización y digitalización, también conocidas como 3D. Esto ha resultado en altos impactos en toda la cadena de valor de la energía y en la forma en que funciona la industria.
- La digitalización es un proceso en el que las tecnologías digitales se implementan en todo el sistema energético para acelerar la transición energética y ayudar a los líderes de la industria a superar los desafíos que enfrenta actualmente el sector.
- La disrupción en la industria energética no se basa en la adopción de tecnologías digitales. Es la transición energética y la creciente complejidad del sistema lo que está disrumiendo el sector, las tecnologías solo actúan como facilitadores para acelerar y facilitar este proceso.
- Las organizaciones del sector energético están explorando y probando aplicaciones que aprovechan varias tecnologías digitales para continuar impulsando la innovación y superar los desafíos de la industria, con casos que se destacan en Blockchain, IoT, IA, Big Data, Data Analytics, y computación en la nube.
- Blockchain todavía se considera una tecnología en desarrollo, a pesar de los avances significativos en los últimos años. Ya ha pasado su momento de altas expectativas y exageraciones, lo que ha calmado las expectativas del mercado y ha ayudado a las partes interesadas a comprender que no es una solución adecuada para resolver cualquier problema; en cambio, debe ser percibido como una herramienta que puede usarse bajo ciertas circunstancias para resolver problemas específicos.
- Los beneficios ofrecidos por Blockchain incluyen transparencia, trazabilidad, inmutabilidad y confianza distribuida, lo que lo convierte en una tecnología estratégica a tener en cuenta dado el impacto potencial que tiene en las tres tendencias principales de la industria (3D).

- Las organizaciones privadas deben colaborar estrechamente con el sector público al diseñar sus estrategias de Blockchain, dado que es el marco regulatorio el que en última instancia impulsará o desalentará la adopción de esta tecnología. Esto se puede hacer a través de sandboxes o entornos de prueba privados donde las soluciones se pueden mostrar a los reguladores.
- La colaboración en toda la industria también es esencial para que una solución Blockchain prospere, ya que los beneficios se maximizan cuando participan varias partes y se crea un ecosistema distribuido. El establecimiento de un consorcio industrial de Blockchain, puede contribuir con el desarrollo de soluciones Blockchain para el mercado mexicano.
- Varios proyectos e iniciativas ya están probando la tecnología a través de pilotos y soluciones a pequeña escala, que pueden clasificarse en 4 modelos comerciales amplios basados en Blockchain: trazabilidad y transparencia, descentralización del mercado, finanzas y pagos e IoT y dispositivos inteligentes.

Se han identificado tres áreas de oportunidad clave para los casos de uso de Blockchain para el Sector Energético Mexicano:

1. Un mercado descentralizado de CEL para mejorar la transparencia de la información y la rendición de cuentas sobre la generación de energía limpia, al tiempo que permite a las contrapartes intercambiar CEL a través de una plataforma digital.
2. Registro de datos e información para la ejecución de contratos, lo que permite a los usuarios programar contratos inteligentes aprovechando los datos disponibles para ejecutar automáticamente ciertas condiciones predefinidas.
3. Un mercado minorista descentralizado para parques industriales para comprar y vender energía a través de un mercado digital de energía mayorista de manera eficiente, transparente y segura.

Este reporte intenta servir como piedra angular para la adopción de Blockchain en el Sector Energético Mexicano. Los principales objetivos de este esfuerzo son reducir las barreras de información con respecto a esta tecnología, comprender el panorama actual de cómo el sector está aprovechando esta tecnología a nivel internacional y proporcionar un conjunto de consideraciones importantes y recomendaciones viables hacia los interesados y los líderes de la industria para evaluar oportunidades en este espacio.





Introducción

1.1 Contexto General y Justificación del Reporte

El sector energético ha demostrado ser un motor de cambio para el mundo a lo largo de la historia, siendo uno de los elementos más importantes para la evolución de la industria y nuestra sociedad. El sector ha tenido una continua transformación a lo largo del tiempo, siempre buscando proporcionar una mayor eficiencia mediante el uso de tecnologías innovadoras y revolucionarias.

Actualmente, el sector se encuentra en un proceso de transformación digital con el objetivo de ofrecer energía renovable y sostenible para afrontar el cambio climático. La evolución que está experimentando la industria hoy en día se deriva principalmente de las disrupciones tecnológicas como la inteligencia artificial (IA), el big data, el internet de las cosas (IoT) y Blockchain.

Cualquier industria que este viviendo un ritmo de transformación acelerado se verá obligada a adoptar nuevas tecnologías disruptivas. Blockchain deberá ser una de las principales áreas de interés para líderes de industria en el mundo al momento de identificar y diseñar nuevas oportunidades a través de modelos de negocio innovadores. Esto se debe principalmente a sus características subyacentes como los son la transparencia e inmutabilidad, habilitando nuevos mecanismos de confianza y la creación de nuevos modelos de negocio que desafían los sistemas centralizados tradicionales, como es el caso del sector energético.

A pesar de que actualmente existen varias tecnologías fascinantes por considerar al pensar en la digitalización del sector energía, este reporte se enfocará principalmente en Blockchain debido a los impactos potenciales y cualidades disruptivas que puede ofrecer a la industria en términos de sus principales tendencias actuales: decarbonización, digitalización y descentralización.

En este sentido, Blockchain es un registro de transacciones permanente dentro de una red descentralizada que contiene información vinculada cronológicamente. Permite la gestión, validación y almacenamiento de información, proporcionando eficiencia, automatización de procesos, transparencia en el historial de eventos, inmutabilidad de la información registrada y un seguimiento auditable a través de un registro distribuido.

Este sistema es confiable debido a su red distribuida, esto significa que todos los participantes tienen una copia completa del registro. Además, el sistema permite dar trazabilidad al registrar el historial de transacciones en un bloque, proporcionando información detallada sobre operaciones realizadas. Por esta razón, Blockchain es la herramienta tecnológica adecuada para promover la descentralización y abrir el camino a una nueva economía.

A pesar de que inicialmente se creó para la gestión y distribución de criptomonedas, (buscando eliminar intermediarios centralizados de los modelos transaccionales actuales) múltiples industrias han identificado varios beneficios vinculados a sus características. Este es el caso del sector energético, en el que se pueden generar transformaciones significativas, especialmente si se combina con otras tecnologías como IoT, lo que permite el desarrollo de nuevos modelos con mayor impacto para la industria.

El mercado global de la tecnología Blockchain está aumentando rápidamente, pronosticando un valor aproximado de \$23.3 mil millones de dólares para 2023.¹ Asimismo, se prevé que el valor global de Blockchain en el sector energético pasé de \$200 millones de dólares en el 2018 a \$3 mil millones en el 2025 debido a su creciente relevancia en el mercado (Global Market Insights, 2019).² Esta tecnología ha llamado la atención de gobiernos, start-ups, empresas de servicios públicos, academia y organizaciones civiles al ofrecer posibilidades interesantes para nuevos modelos de negocio, soluciones innovadoras y aplicaciones en diferentes sectores, tales como: energía, gobierno, salud y mercados laborales.

El objetivo de este estudio es desarrollar un documento detallado sobre la digitalización del Sector Energético Mexicano, centrándose en la tecnología Blockchain. El documento analiza los casos de uso actuales y potenciales de la tecnología Blockchain en el sector energético e identifica los casos de uso más factibles para México.

Para identificar qué casos de uso tenían más sentido en México y comprender el potencial de Blockchain en el sector, varios expertos fueron encuestados, entrevistados y finalmente invitados a participar en un taller proporcionando información, experiencias y perspectivas relevantes.

1. Statista. (2018). Size of the Blockchain technology market worldwide from 2018 to 2025. Hamburgo, Alemania. Obtenido de Statista Sitio web: <https://www.statista.com/statistics/647231/worldwide-blockchain-technology-market-size/>

2. Nhede, N. (2019). Blockchain in energy market to reach \$3 billion by 2025. Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Obtenido de Smart Energy International Sitio web: <https://www.smartenergyportal.ch/blockchain-in-energy-market-to-reach-3-billion-by-2025/>

Por último, el estudio busca proporcionar a líderes de industria con una guía para que las organizaciones puedan identificar casos de uso que realmente agreguen valor, junto con una serie de recomendaciones sobre cómo implementar la tecnología. Este documento es considerado de alta relevancia para el Sector Energético Mexicano, dado que la disrupción digital está obligando a las organizaciones a adoptar nuevas tecnologías, entre las cuales se destaca Blockchain debido a las posibles oportunidades que puede ofrecer.

El reporte incluye los siguientes elementos clave:

- Contexto general del sector energético mexicano y actores relevantes del mercado.
- Información básica sobre qué es la tecnología Blockchain y cómo funciona.
- Análisis de mercado de las aplicaciones existentes de Blockchain en el sector energético.
- Identificación de posibles casos de uso de Blockchain para el Sector Energético Mexicano.
- Recomendaciones y consideraciones generales para promover el uso de Blockchain en el mercado local.

1.2 Metodología

La metodología utilizada durante la elaboración de este estudio gira en torno a tres componentes principales: inteligencia de mercado, participación de expertos y desarrollo de contenido. Estas actividades se ejecutaron en paralelo debido a su alta interdependencia, en vista del hecho de que los nuevos hallazgos y resultados en una línea de trabajo tuvieron un impacto directo en las otras dos.

Además, abordar una tecnología tan innovadora como Blockchain dentro de un campo altamente especializado y técnico, como el sector energético, representó un desafío significativo en términos de conocimiento, experiencia y recursos disponibles. Por lo tanto, el resultado final es el resultado de un proceso iterativo llevado a cabo por un equipo multidisciplinario de México y Alemania, integrado por expertos en el sector energético, la tecnología Blockchain y la transformación digital.

Primero, se llevó a cabo un análisis de mercado de la industria energética y la tecnología Blockchain para comprender la situación actual del mercado. En el caso del sector energético, se evaluaron los panoramas

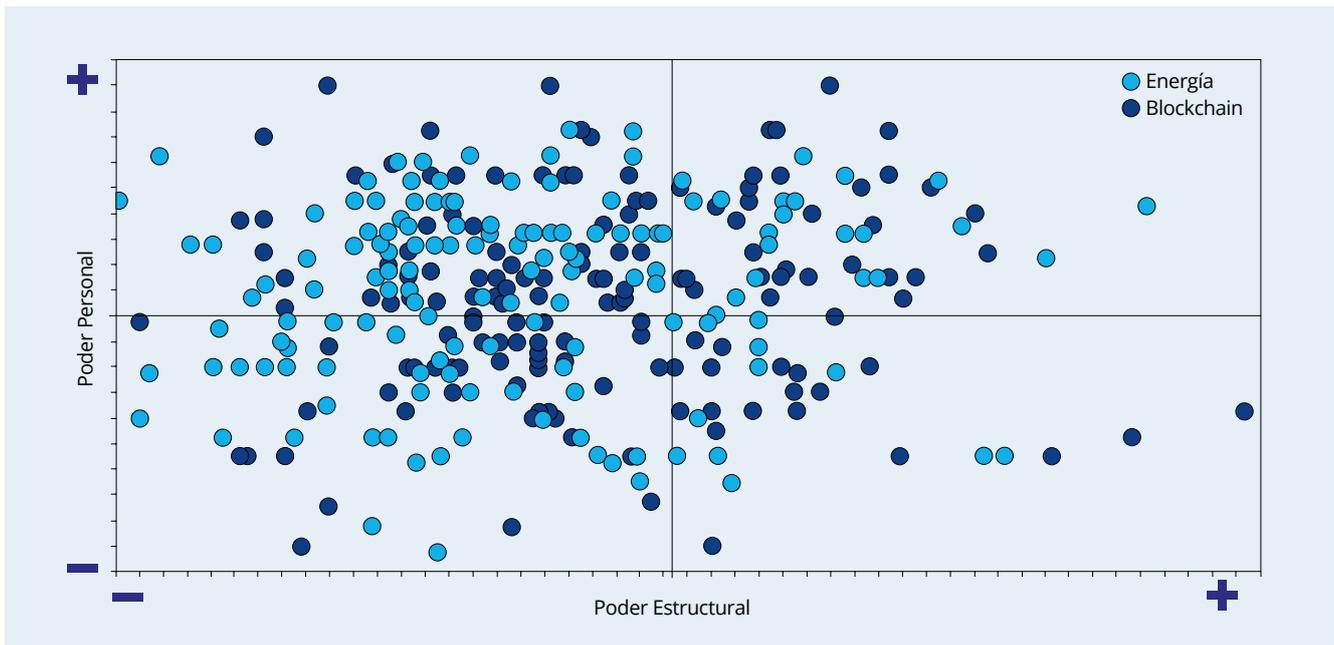
actuales locales e internacionales, junto con las tendencias clave en los modelos comerciales emergentes y el papel de la digitalización en la transición energética. Para la tecnología Blockchain, un análisis de sus antecedentes y evolución proporcionó información clave para evaluar su madurez y factibilidad para los casos de uso sugeridos en la industria. Esto dio paso a una identificación completa de los actores relevantes del mercado y los líderes de la industria que deben ser considerados para iniciativas en este tema en particular.

En segundo lugar, los expertos en la materia se incorporaron utilizando criterios diseñados para identificar y seleccionar perfiles relevantes ajustados a los objetivos del estudio. Las áreas de especialización incluidas fueron: energía, digitalización y Blockchain; Además, se tuvo en cuenta la representación de los siguientes campos relevantes: sector privado, sector público, academia, asociaciones, fundaciones y startups. Más de 300 expertos identificados fueron evaluados mediante el análisis de variables específicas relacionadas con su poder personal y estructural. El poder personal se refiere a la experiencia e influencia del experto dentro de su campo respectivo, mientras que el poder estructural corresponde a la organización a la que pertenece, así como la afiliación a asociaciones o participación activa en actividades académicas o científicas.

Los resultados de este análisis cuantitativo se mapearon en los dos ejes de evaluación definidos para identificar perfiles sobresalientes en ambos cuadrantes. Se elaboraron dos Power Maps, uno para expertos en energía y otro para Blockchain: el resultado de este ejercicio se puede ver en el gráfico 1.1. Además, se consideraron elementos cualitativos para la selección final de expertos, que incluyen: balance de perfil, representación de diversos campos, representación internacional y local, igualdad de género y otros factores externos no capturados por criterios cuantitativos (por ejemplo, roles estratégicos específicos dentro de las organizaciones).



Gráfico 1.1 - Power Map de Expertos Identificados



Alianza Energética, 2020

Una vez que se concluyó la identificación y selección de expertos, se inició un proceso de consulta para obtener un panorama general de las opiniones de los líderes de la industria con respecto a la situación actual de la industria energética y su adopción de tecnologías digitales, con un enfoque particular en la tecnología Blockchain. La consulta incluyó 3 áreas relevantes para el informe:

Oportunidades y desafíos, digitalización y tecnología Blockchain, todos enfocados en el sector energético. La

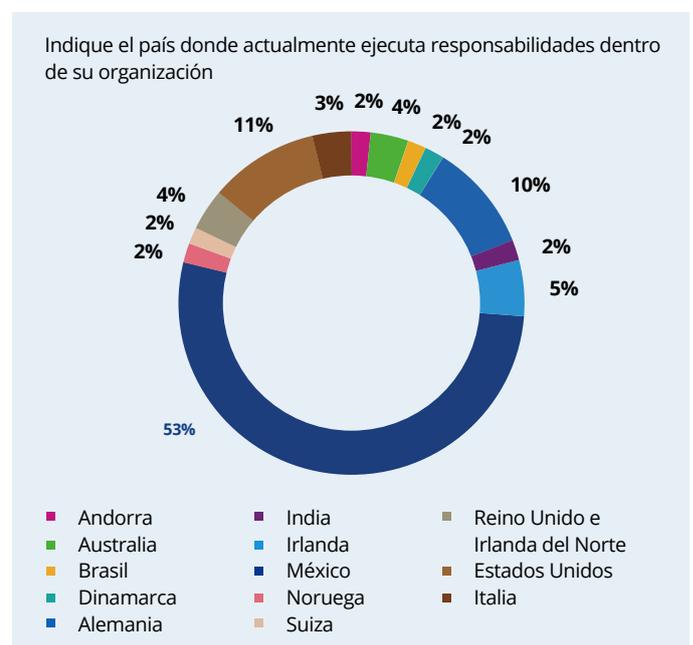
encuesta de consulta se envió a más de 200 expertos, altamente diversificados en términos de su función actual, área funcional, campo de especialización y sectores que representan, obteniendo una tasa de respuesta del 28.36%. En el gráfico 1.2 se muestra una descripción general de los perfiles profesionales participantes, mientras que el gráfico 1.3 presenta la participación de expertos por país de origen.

Gráfico 1.2 - Segmentación de Expertos por Sector



Alianza Energética, 2020

Gráfico 1.3 - Segmentación de Expertos por País



Alianza Energética, 2020

Posteriormente, más de 30 expertos fueron invitados a participar en una entrevista individual para obtener una perspectiva más detallada del sector energético y cómo la tecnología Blockchain podría afectar el mercado energético mexicano. Cada entrevista se alineó con el arquetipo de los expertos e incluyó tres secciones: desafíos, consideraciones estratégicas y oportunidades, con el objetivo de promover una conversación basada en retos. Se priorizó la composición de los expertos entrevistados para incluir una representación equilibrada de diferentes partes interesadas relevantes en la industria, distribuida de la siguiente manera:

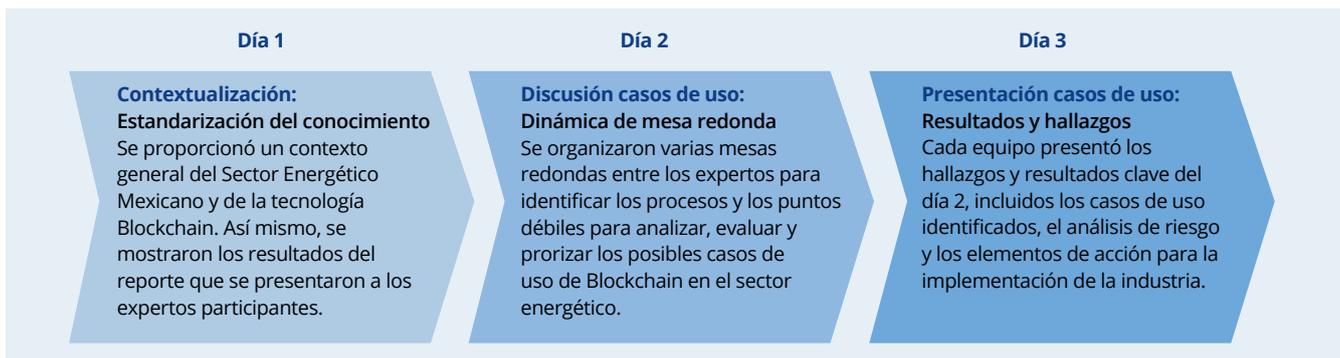
Tabla 1.1 - Composición de Expertos Entrevistados

Expertos Entrevistados				
Sector/Área	Blockchain	Digitalización	Energía	Total
Privado	1	3	4	8
Fundaciones	2	2	0	4
Académicos	1	1	2	4
Startups	6	3	1	10
Asociación	1	2	2	5
Público	0	0	2	2
TOTAL	11	11	11	33

Alianza Energética, 2020

Todos los expertos que participaron en el proceso de la entrevista fueron invitados a un Taller Digital diseñado para analizar y calificar los casos de uso de Blockchain con alto potencial para el Sector Energético Mexicano. El taller se dividió en una agenda de 3 días compuesta por las actividades que se muestran en el gráfico 1.4. Este taller representó un hito clave para el estudio, ya que se centró por completo en casos de uso factibles para el mercado mexicano.

Gráfico 1.4 - Estructura del Taller Digital



Alianza Energética, 2020

Todos los hallazgos y resultados obtenidos de las actividades mencionadas anteriormente se actualizaron continuamente y se sometieron a análisis para el desarrollo de contenido. Se distribuyó un primer borrador entre los expertos participantes como parte de las actividades de socialización del documento para recibir comentarios y observaciones para integrar en la versión final del informe. El presente texto es el resultado de amplias contribuciones de los expertos participantes, investigación profunda y análisis de mercado de la tecnología Blockchain y una evaluación especializada del Sector Energético Mexicano.

1.3 Estructura del Reporte

El reporte está estructurado para lograr el objetivo de proporcionar al lector un entendimiento y comprensión del Sector Energético Mexicano, la tecnología Blockchain y el potencial de la tecnología Blockchain en el Sector Energético Mexicano.

El primer capítulo del reporte, “Sector Energético Mexicano”, proporciona una visión general del sector y cómo funciona, brindando un contexto general de las principales regulaciones actuales que lo rigen, teniendo en cuenta los roles permitidos tanto para el sector público como privado. También se identifican los principales cambios derivados de la Reforma Energética y se describe la cadena de valor eléctrica para proporcionar una comprensión de las principales actividades dentro del sector.

Posteriormente, se brinda una explicación sobre cómo se segmenta el sector energético desde una perspectiva de oferta y demanda y se describen las diferentes energías limpias como la parte de la generación total de electricidad que representa cada uno. El panorama de energía renovable en México se analiza y compara con otros países como Alemania, Italia y los Estados Unidos. Se explora un caso de mejores prácticas con respecto a las energías renovables, presentando a Uruguay como un ejemplo para América Latina debido a su alta generación de energía renovable y sus similitudes con el Sector Energético Mexicano.

La sección 2.2 entra en detalle sobre el Sector Energético Mexicano. Primero, se describen los principales participantes en el sector y sus funciones, incluidas las comisiones, los reguladores, los operadores y los participantes en el mercado. Luego, se ofrece una explicación profunda del Mercado Eléctrico Mayorista donde se explica el objetivo de su creación, así como cada uno de los productos que se comercializan en él.

La última sección del capítulo del Sector Energético Mexicano analiza el futuro del sector. Se muestran los objetivos de sustentabilidad y cambio climático y se analiza la transición actual de energía limpia en México. Luego, se explora el futuro del marco regulatorio para comprender la dirección del sector. Además, hay una explicación sobre las principales tendencias que el sector energético está experimentando actualmente, incluidas la descarbonización, la descentralización y la digitalización; Debido al propósito de este informe, hay una sección con especial énfasis en la digitalización.

El Capítulo 3 tiene como objetivo principal explicar qué es la tecnología Blockchain. Se proporciona una definición de Blockchain y antecedentes generales, junto con una revisión de las ciencias que permiten esta tecnología y sus principales características y funcionalidades. Posteriormente, se revisa el origen de Blockchain, seguido de sus fases de evolución y evaluación de su estado actual en múltiples industrias, incluido el sector energético.

La sección 3.4 cubre los principios clave de Blockchain, explicando cuáles son los principales componentes y conceptos de la tecnología. Al desglosar sus componentes, el lector puede comprender la tecnología de manera simplificada. Las criptomonedas, los tokens y los contratos inteligentes tienen secciones específicas, ya que es importante explicar estos términos para comprender algunas de las principales funcionalidades subyacentes de Blockchain. Luego, se exploran sus principales beneficios, ventajas y desafíos desde una perspectiva técnica, social, regulatoria y comercial.

Posteriormente, la sección 3.5 muestra los diferentes tipos de plataformas Blockchain, tales como público, privado y consorcio, identificando y destacando las diferencias entre ellos. El reporte entra en detalle sobre de los algoritmos de consenso, describiendo los diferentes mecanismos de consenso disponibles y sus diferentes funcionalidades que trabajan para fines específicos.

Finalmente, esta sección proporciona al lector elementos clave para identificar cuándo una solución basada en Blockchain realmente tiene sentido y es importante considerarla. Esta sección incluye un conjunto de preguntas

que pueden servir como guía para evaluar cuándo Blockchain agrega valor a un escenario específico, junto con algunos ejemplos de casos de uso generales identificados de la tecnología Blockchain que sirven como referencia de evaluación inicial.

El Capítulo 4, titulado “Blockchain en el sector energético”, identifica los principales actores relevantes para la adopción de Blockchain en México. Especifica roles para los sectores público y privado y otras organizaciones que vale la pena considerar al definir una estrategia de Blockchain para toda la industria. A continuación, se realiza un análisis para comprender el estado actual del sector energético e identificar oportunidades en la cadena de valor, así como tecnologías adicionales que son compatibles con Blockchain para identificar posibles sinergias entre ellos. A partir de esta sección, la mayoría de las ideas fueron proporcionadas por expertos a través de encuestas, entrevistas y talleres.

La Sección 4.4 clasifica los diferentes modelos de negocio emergentes en el sector energético que utilizan la tecnología Blockchain dentro de los cuatro grandes grupos identificados durante el proceso de inteligencia de mercado. Posteriormente, se hace referencia a las múltiples aplicaciones Blockchain a nivel internacional como un punto de referencia de oportunidades para el mercado mexicano y luego se proporcionan casos de uso exitosos.

Por último, los posibles casos de uso de Blockchain aplicables al Sector Energético Mexicano se exploran analizándolos desde una perspectiva general a una más particular. Primero, se enumeran los procesos actuales con puntos críticos de la industria. En segundo lugar, se lleva a cabo una evaluación de los procesos identificados donde Blockchain se convierte en una tecnología relevante a considerar. A continuación, se proponen y priorizan casos de uso potenciales en función de un marco de factibilidad e impacto. Finalmente, se analizan los casos de uso seleccionados, incluidos sus principales beneficios, desafíos, impactos y riesgos.

Por último, el Capítulo 5 proporciona algunas consideraciones clave finales y recomendaciones generales para promover las implementaciones de Blockchain en el sector, buscando brindar a los líderes de la industria orientación y asesoramiento para la adopción de Blockchain en sus organizaciones. Para finalizar, la última sección resume las principales conclusiones basadas en los resultados del estudio, con hallazgos integrados por un análisis de investigación, encuestas, entrevistas y talleres.



2. Sector Energético Mexicano

En este capítulo, se explicará el Sector Energético Mexicano con especial énfasis en el sector eléctrico. Se describirá el panorama actual del sector y cómo funciona, así como las principales regulaciones derivadas de la reforma energética. Esta sección incluye una descripción de los actores y su función, del Mercado Eléctrico Mayorista con una explicación de los productos que se comercializan en él y la segmentación de la industria con respecto a la oferta y la demanda. Posteriormente, el capítulo se centrará en la energía limpia, explicando su definición, su uso en México, tendencias e iniciativas y objetivos de sustentabilidad. Por último, se ofrece una sección que cubre las tendencias en el sector energético, con una breve explicación de cada una de ellas.

2.1 Cambios, Panorama Actual y Comparación Internacional

Cambios Recientes en el Sector Energético Mexicano

- Sector Energético Antes y Después de la Reforma de 2014 (con Enfoque en el Sector Eléctrico).

Después de varias décadas de un modelo tradicional de la industria energética, en 2014 se aprobó la Reforma Energética. Habiendo establecido un nuevo marco regulatorio, México aspira a convertirse en un productor de energía autosuficiente. Este resultado deseado se alcanzará a mediano y largo plazo, mediante la apertura de la competencia de precios, maximizando los ingresos derivados de estas actividades y garantizando la estabilidad económica del país a través del desarrollo sostenido (SENER, 2015).³

Una de las principales razones por las que se implementó esta reforma es para que el sector privado pueda apoyar en el procesamiento y la refinación de nuestros recursos para crear eficiencia a través de la inversión y la innovación.

Por ley se han creado dos estrategias para reducir los costos, una para ofrecer a los consumidores industriales energía a precios competitivos y otra para incentivar a los generadores a reducir sus costos y tarifas de electricidad de producción. Para los consumidores industriales, se creó el Mercado Eléctrico Mayorista donde los participantes obtienen su energía comprándola de generadores privados a precios competitivos.

Por otro lado, para los generadores, el precio que se les paga por la energía se define mediante una metodología en la que los generadores con el menor costo para producir 1MWh son los primeros en despacharse y así sucesivamente hasta que se satisfaga la demanda. El costo por 1MWh del último generador para satisfacer la demanda es la tarifa a la que se pagará a los generadores.

Con esta regulación, los generadores deben reducir sus costos para aumentar su margen. Esto impulsará la digitalización y la transición a energías más limpias que son más baratas de producir.

La participación de empresas privadas en el sector energético fue otro cambio significativo. La empresa de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dejaron de ser los únicos participantes en el mercado y comenzaron a competir con sector privado. Hoy en día, deben aprovechar sus ventajas competitivas y su conocimiento del mercado para ser más competitivos y tener éxito y crecimiento a largo plazo.

Sin embargo, el sector privado no puede participar en todas las actividades de la cadena de valor, existen algunas restricciones para las actividades que están reservadas para el Estado. Por ejemplo, en el sector de petróleo y gas, el sector privado puede refinar, distribuir, transportar, almacenar e incluso vender combustibles al público. Sin embargo, las actividades de exploración y extracción están reservadas para el Estado ya que todos los recursos que se encuentren en el territorio de la nación son de su propiedad. En el sector eléctrico, el Estado reservó las actividades de distribución, transmisión y generación nuclear para CFE.

La Reforma Energética cambió el papel que tenían las entidades reguladoras. Sus actividades y responsabilidades se rediseñaron otorgándoles autonomía técnica, operativa y financiera bajo un esquema que permite el desarrollo eficiente de la industria, con un enfoque en la sostenibilidad y las normas anticorrupción.

Con respecto a la regulación, un cambio disruptivo en el sector energético fue la separación del Centro Nacional de Control de Gas Natural (CENAGAS) y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE), que son instituciones públicas independientes responsables de garantizar que las empresas del sector energético puedan operar y desarrollarse en el mercado.

3. Secretaría de Energía. (2015). Explicación ampliada de la Reforma Energética. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/sener/documentos/explicacion-ampliada-de-la-reforma-energetica>

El CENAGAS es la entidad federal responsable de la gestión, administración y operaciones del Sistema Nacional Integrado de Transporte y Almacenamiento de Gas Natural (SISTRANGAS). También tiene la responsabilidad de garantizar el suministro confiable y seguro de gas natural, favoreciendo el desarrollo de sector que dependen de este recurso.

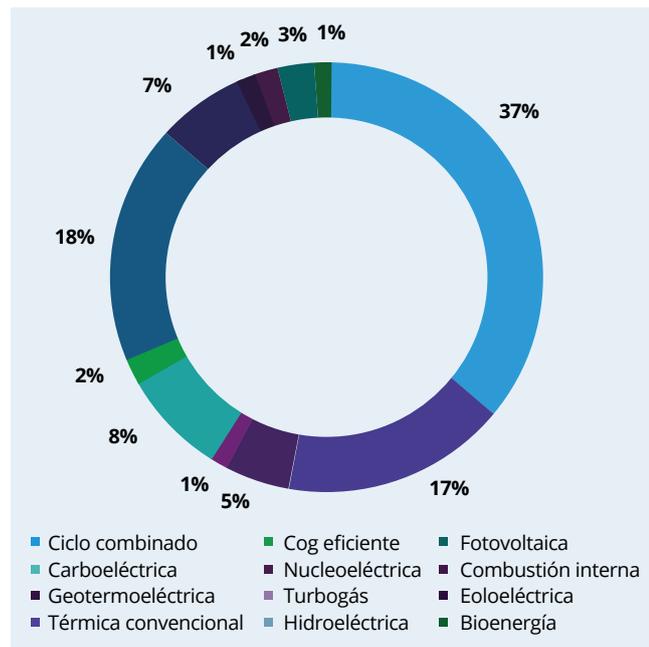
El CENACE es el operador independiente del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) y del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Tiene la responsabilidad de respaldar las transacciones de electricidad y energía entre generadores y consumidores, proveer a usuarios y participantes de la industria con un suministro confiable y estable con una perspectiva ambiental, social y de rentabilidad económica.

Panorama Actual del Sector Energético Mexicano

• Valor de la Industria y Segmentación a Alto Nivel

El sector eléctrico mexicano, incluida su generación, transmisión y distribución, tuvo un valor de MXN \$ 908,476 millones (USD \$ 46,350 millones) en 2018. Creció 9% desde 2017 después de dos años consecutivos de una disminución de -1% (INEGI, 2019).⁴ La Secretaría de Energía (SENER) estima que el consumo de electricidad aumentará a una tasa promedio anual de 3.1% de 2018 a 2032, lo que significa 171,536 GWh adicionales del consumo de electricidad actual (SENER, 2018).⁵ A continuación, se muestra la capacidad instalada por tecnología.

Gráfico 2.1- Estado Actual de la Transición Energética



Alianza Energética, 2020

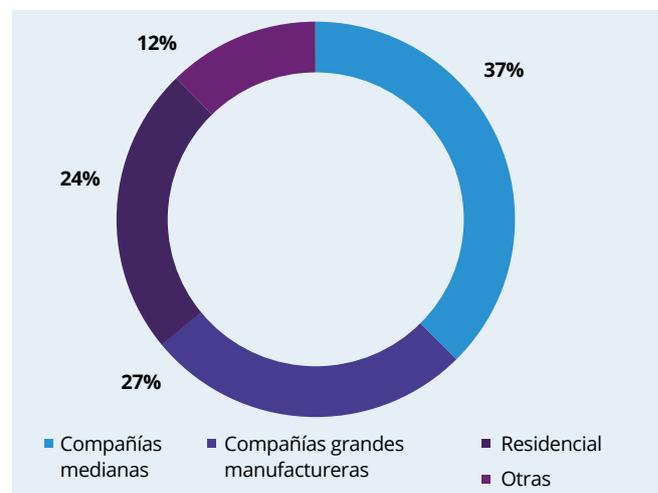
A diciembre de 2018, la capacidad de generación de la CFE, los productores independientes y el resto de los titulares de permisos alcanzaron un valor de 70.053 MW, lo que significó un aumento del 3,1% en relación con 2017.⁶

La tecnología más común para generar electricidad en México es el ciclo combinado. Esta tecnología consiste en la generación de electricidad a partir de la combustión de gas natural en una turbina de gas y, además, cuenta con una turbina de vapor donde el calor desperdiciado produce electricidad adicional. Esta tecnología de generación representa el 36% de la capacidad nacional, seguida de la hidroeléctrica, que representa el 18% y la térmica convencional, el 17% (SENER, 2019).⁷

Dado que la mayoría de la energía en México se produce con turbinas de gas natural, y el 74% del gas natural en México se importa de los Estados Unidos de América (EE. UU.), Existe una fuerte dependencia de los precios de EE. UU. y del tipo de cambio USD / MXN con el precio de la energía en México.

Según el Programa Nacional de Desarrollo del Sistema Eléctrico (PRODESEN, 2019), el sector con la mayor demanda de electricidad en 2018 fueron las empresas medianas, que consumieron el 37,6% del consumo nacional, seguido por las grandes empresas manufactureras que consumieron el 26,6% y residenciales el 23,7%. El resto lo consumen los sectores comerciales, agrícola y de servicios. De los sectores anteriores, las grandes empresas manufactureras son las que muestran el crecimiento más acelerado, con un crecimiento del 7,6% respecto a 2017, el doble que el promedio nacional (3,8%).

Gráfico 2.2- Demanda de Electricidad



Alianza Energética, 2020

4. INEGI (2019), Datos de México. Ciudad de México, México. Obtenido de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>
 5. Alexandrí, R., Rodríguez, F., Ángeles, A., García, E. & Ramírez, T. (2018). Ciudad de México, México. Prospectiva del sector eléctrico 2018 - 2032. Obtenido de Secretaría de Energía Sitio web: https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PSE_18_32_F.pdf
 6. CENACE. (2017). ¿Quiénes Somos? Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.cenace.gob.mx/paginas/publicas/cenace/quienessomos.aspx#:~:text=El%20Centro%20Nacional%20de%20Control,y%20a%20las%20Redes%20Generales%20de>
 7. SENER (2019), Mexico. Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2019-2033. Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/475503/PRO-DESEN_indice.pdf

Teniendo en cuenta todos los sectores mencionados, existen 43.4 millones de usuarios con acceso a electricidad, de los cuales el sector residencial representa la gran mayoría con el 88.7% del total de usuarios.

• **Tipos, Uso y Tendencias de la Energía Limpia Dentro del Sector (SEMARNAT, 2018),⁸ (LIE, 2014)**

La energía limpia se refiere a aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, si los hay, no exceden los umbrales establecidos en las disposiciones regulatorias emitidas para este propósito.⁹

Existen varios tipos de energía limpia, algunas de las principales tecnologías son:

Hidroeléctrica:

Es una forma de energía que aprovecha el poder del agua en movimiento, como el agua que fluye sobre una cascada. Es la fuente de energía renovable más utilizada en México, ya que el 18% de la capacidad de generación nacional total es hidroeléctrica.

Térmica:

La energía térmica se convierte en energía eléctrica. En la mayoría, una turbina de vapor convierte el calor en energía mecánica. En México, la energía térmica convencional representa el 17% de la capacidad de la nación.

Energía eólica:

Utiliza turbinas eólicas para aprovechar el poder de las corrientes de viento. Las áreas con mayor potencial eólico son el istmo de Tehuantepec, Oaxaca; La Rumorosa, Baja California, y regiones de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa y la Península de Yucatán. En México, la generación de energía eólica representa el 6.8% de la capacidad total.

Solar - Fotovoltaica (PV):

Captura la luz emitida por el sol. En México, la capacidad total de generación fotovoltaica es de 1,821 MW, y se ubica principalmente en el norte y centro del país. La tecnología de energía fotovoltaica representa el 2.6% de la capacidad nacional. Sin embargo, está creciendo rápidamente, ya que de enero a diciembre de 2018 la generación de energía solar aumentó un 583%.

Nuclear:

Proviene de la división de átomos en un reactor para calentar agua en vapor, encender una turbina y generar electricidad. En México, la generación de energía nu-

clear está reservada para el estado y representa el 2.3% de la capacidad de generación total. Solo hay una planta nuclear en el país, la planta nuclear Laguna Verde, y está ubicada en el municipio de Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Veracruz.

Cogeneración:

Es la creación de electricidad y calor. El calor se puede utilizar para generar electricidad adicional, el 2% de la capacidad nacional es cogeneración.

Geotérmica:

Energía térmica generada y almacenada en la Tierra. En México, hay cinco campos geotérmicos: Cerro Prieto, Baja California; Tres Vírgenes, Baja California Sur; Domo de San Pedro, Nayarit; Los Azufres, Michoacán y Humeros, Puebla. La tecnología geotérmica representa el 1% de la capacidad nacional.

Biomasa:

Se origina a partir de materia biológicamente renovable como la madera, la celulosa y el carbón vegetal. Se puede obtener del estado líquido de esa materia, fermentando azúcares, o por descomposición anaeróbica de materia orgánica. La capacidad de generación de biomasa es solo el 0.5% de la capacidad total.

Oceánico:

Se obtiene de las olas del mar, la marea alta y baja y la diferencia en la temperatura del agua de mar. México no ha podido desarrollar proyectos de generación a gran escala a partir de la fuente oceánica.

• **Explicación del Funcionamiento Actual del Sector Eléctrico Mexicano**

La cadena de valor del sector eléctrico consta de las siguientes cuatro secciones principales: generación, transmisión, distribución y comercialización.

La generación consiste en la transformación de energía química, mecánica, térmica, luminosa o de cualquier otro tipo en energía eléctrica. Hoy en día todos pueden producir su propia energía y usarla o venderla a CFE. En 2018, las empresas privadas poseían el 40.8% de la capacidad nacional. Existen varios esquemas bajo los cuales los privados pueden generar energía. Cada uno requiere diferentes permisos. Puede generar para su propio consumo, comercializar la electricidad, o si genera menos de 0.5MW y no participa en el mercado mayorista de electricidad, ni siquiera necesita un permiso. Los generadores privados pueden vender su energía a la CFE, al mercado mayorista de electricidad o mediante contratos bilaterales con usuarios calificados.

⁸ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). ¿Qué son las energías renovables? Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/que-son-las-energias-renovables?idiom=es>
⁹ SEMARNAT (2018), ¿Qué son las energías renovables? Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/que-son-las-energias-renovables?idiom=es>
⁹ Cámara de Diputados. (2014). Ley de la industria Eléctrica. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf

La transmisión y distribución se refieren al transporte de energía desde el punto / fuente de generación hasta el consumidor final. La transmisión se refiere al transporte de energía a alto voltaje, generalmente desde plantas de generación remota a áreas residenciales o industriales. La energía luego ingresa a una subestación en la cual los transformadores adaptan los niveles de tensión. Una vez que la electricidad cumple con los requisitos técnicos, la energía ingresa a la red de distribución y se entrega a través de áreas residenciales o industriales. Estos servicios se proporcionan a través de la red nacional de transmisión y la red general de distribución las cuales están reservadas para el estado. Sin embargo, la CFE podría celebrar

contratos y formar asociaciones con actores privados para financiar, instalar, mantener, administrar, operar y ampliar la red nacional con la intención de que la industria eléctrica tenga acceso a empresas con experiencia y tecnología para asegurar que la población mexicana tenga una red segura y eficiente.

La red de transmisión actual tiene una longitud de 108.018 km, lo que significa que podría dar la vuelta al mundo 2,7 veces. La red nacional de transmisión se divide en 53 regiones, de las cuales 45 están interconectadas, mientras que las 8 restantes pertenecen a sistemas aislados.

Gráfico 2.3 - Sistema de Transmisión de México





La comercialización es la actividad de comprar y vender energía, hay compañías que suministran a los usuarios finales y hay vendedores que solo intercambian energía sin suministrar a ningún usuario.

Se establece en la Ley de la Industria Eléctrica (LIE), que el acceso del usuario final a la energía sería a través de un suministrador o autoabastecimiento para usuarios básicos (residenciales y pequeñas empresas con una demanda inferior a 1 MW). En el caso de usuarios calificados (Usuarios con una demanda superior a 1MW y registrados en la CRE) puede ser a través de un suministrador, autoabastecimiento, el mercado mayorista de electricidad o contratos bilaterales con generadores.

Las transacciones de la comercialización de energía se acuerdan directamente entre los generadores y suministradores con los usuarios calificados, mientras que la transmisión y distribución solo cobran tarifas por el uso de su infraestructura a los proveedores, quienes pasan la tarifa al usuario final.

Comparación del Sector Energético Mexicano con Otros Países

• Comparación en Uso de Energía Limpia

Según la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), en 2018, la capacidad global de energía renovable fue de 2,356,346 MW, lo que representó un crecimiento del 8% con respecto a 2017. La mayor parte de esta capacidad renovable proviene de Asia, ya que el 43% de la capacidad renovable total se encuentra en esta región (IRENA, 2019).¹⁰ A medida que las energías renovables se han convertido en una propuesta convincente, la inversión en nueva energía renovable ha crecido de alrededor de USD 50 mil millones por año en 2004, a aproximadamente USD 250 mil millones por año en los últimos años (IRENA, 2019).¹¹

En 2018, México tenía una capacidad renovable total de 22,128 MW, 2,666 MW adicionales en comparación con 2017, lo que significa que la capacidad total creció en un 13.7% impulsada principalmente por energía solar y eólica, que representan el 71% y el 25% de la capacidad adicional total, respectivamente. Este aumento significativo en la energía solar y eólica podría atribuirse a las regulaciones y la reducción de los costos de equipos renovables.

10. IRENA. (2019). Renewable Energy Statistics 2019, Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos. Obtenido de The International Renewable Energy Agency. IRENA (2019), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

11. IRENA. (2019). Finance & Investment. Abu Dabi, UAE. Obtenido de IRENA web page: <https://www.irena.org/financeinvestment>

Aunque el crecimiento anual de la capacidad renovable en México es casi el doble del crecimiento global (7.8%), todavía está muy por detrás en términos de capacidad total de países desarrollados como Alemania, que tiene una capacidad renovable de 120,014 MW, Italia que cuenta con 53,290 MW o Estados Unidos con 245,245 MW instalados. Sin embargo, México es uno de los países que está aumentando su capacidad de energía solar más rápido, en 2018 creció un 279% contra 2017, mientras que otros países como Alemania, Italia y Estados Unidos tienen un crecimiento de capacidad solar del 8%, 2% y 19% respectivamente para el mismo periodo.

Hace unos años, las tecnologías de energía renovable eran muy caras y solo un pequeño nicho de clientes e inversionistas podían aprovechar sus beneficios. Desde 2008, el costo de las tecnologías de energía eólica y fotovoltaica ha disminuido entre 41% y 94%, lo que las hace más asequibles. Un ejemplo podría ser el costo de la instalación de proyectos fotovoltaicos solares a gran escala, que en 2016 fue de \$ 2.08 dólares por watt (W) y en 2018 cayó a un costo de menos de un dólar (BANCOMEXT, 2019).¹² Los bajos costos de la infraestructura de energía renovable no solo han hecho que los proyectos a gran escala sean más baratos, sino que también han ayudado a individuos y pequeñas empresas a generar su propia energía (conocida como generación distribuida). En México, hay 83,104 contratos de generación distribuida que representan 570.2 MW de capacidad instalada, lo que representa el 0.8% de la capacidad total. Estos proyectos de generación a pequeña escala podrían ayudar a México a cubrir la creciente demanda de energía e impulsar la transición energética hacia una energía más limpia (CRE, 2019).¹³

En un estudio realizado por KPMG, en el que se analizaron 21 países de América Latina para identificar la capacidad de energía renovable per cápita, México quedó en el puesto 17 solo por arriba de Puerto Rico, Nicaragua, Bolivia y Guyana; mientras que Paraguay y Uruguay estuvieron en la cima de la tabla. Esta tendencia puede revertirse ya que México se encuentra entre los 3 principales países de América Latina en cuanto a potencial de energía eólica y solar y, como región volcánica, también tiene un potencial geotérmico significativo. Por lo tanto, México es uno de los principales destinos de inversión en energía renovable. Según un informe de las Naciones Unidas, México ocupa el puesto 14 en los países que tienen mayores inversiones en energía renovable (BANCOMEXT, 2019).¹⁴

En el documento Prospectiva de Energías Renovables 2018-2032 de la SENER, se estimó el potencial de energía renovable para México. Considerando regiones o áreas con alto potencial para el desarrollo y despliegue de infraestructura de generación de energía renovable, así como una cercanía de 20 km o menos a la red de transmisión, se estima que México tiene un potencial para instalar 32,307,374 MW y una generación de 67,891,324 GWh/a (SENER, 2018).¹⁵ Aunque no es tan simple, para mantener el crecimiento acelerado de las energías renovables, la red de transmisión y distribución debe ampliarse y modernizarse. El desarrollo de baterías de almacenamiento de energía también será fundamental para la transición energética. Estos desarrollos tecnológicos impulsan la energía renovable (principalmente la energía fotovoltaica y eólica) ya que, por su naturaleza, son intermitentes y la electricidad producida no está controlada. Por lo tanto, las variaciones de la demanda no pueden satisfacerse si no se puede controlar la generación, por lo tanto, el desarrollo del almacenamiento ayudará a impulsar la transición hacia una energía más limpia.

• Mejores Prácticas Internacionales

Un gran ejemplo de un país que migró a un sistema de energía renovable es Uruguay, que en 2019 obtuvo una generación del 98% de energía renovable de su producción total de electricidad (Gov.Uruguay, 2019).¹⁶ Esto se logró estableciendo factores estratégicos que ayudaron a la transición hacia energía limpia. Los principales impulsores estratégicos fueron la regulación ambiental, el papel estratégico de las empresas públicas, la cultura de sostenibilidad, la inversión privada y la generación de investigación, desarrollo e innovación para el sector.

Uruguay tiene un sector energético similar al de México. Ambos tenían entidades gubernamentales que operaban en un mercado monopolista y fueron transformadas por un nuevo conjunto de regulaciones en las que el capital privado fue aceptado en el sector energético, se creó un Mercado Eléctrico Mayorista y se creó una organización para la operación del mercado y el despacho de energía. El apoyo legal para las energías renovables fue proporcionado por el decreto 354 sobre Promoción de Energías Renovables, aprobado en 2010 por el Ministerio de Energía y Minería (MIEM) de Uruguay.

12. Padilla, A., Chávez, I., García, D., Hernández, G. & Rosalgel, S. (2019). Energías Renovables: Construyendo un México Sustentable. Ciudad de México, México. Obtenido de BANCOMEXT Sitio web: https://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2019/01/Libro-Bancomext_Energias-Renovables.pdf

13. CRE. (2019). Evolución de Contratos de pequeña y Mediana Escala / generación Distribuida. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483322/Estadisticas_GD_2019-1.pdf

14. Bancomext (2019). México, Lugar 14 de Países con Más Inversión en Energía Renovable. Ciudad de México, México. Obtenido de Bancomext Sitio web: <https://www.bancomext.com/notas-de-interes/25160>

15. Alexandri, R., Villanueva, E., Muñozcano, L., Rodríguez, F., Rodríguez, J., Ramírez, A., Ángeles, A., García, E. & Ramírez, T. (2018). Prospectiva de Energías Renovables. Ciudad de México, México. Obtenido de Secretaría de Energía Sitio web: https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PER_18_32_F.pdf

16. Uruguay Presidencia. (2019). Uruguay cuenta con 98 % de energía renovable y redujo emisiones de gases de efecto invernadero. Montevideo, Uruguay. Obtenido de Uruguay Presidencia Sitio web: <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/ministra-eneida-de-leon-en-sesion-de-naciones-unidas-reduccion-gases-efecto-invernadero#:~:text=Uruguay%20cuenta%20con%2098%20de%20energ%C3%ADa%20renovable%20y%20redujo,de%20gases%20de%20efecto%20invernaderocon%2098%20de%20energ%C3%ADa%20renovable%20y%20redujo,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>



En la práctica, el gobierno actuó para elegir a los ganadores mediante el establecimiento de acuerdos agresivos de compra de energía (PPA) y exenciones de impuestos (20% -100% del impuesto sobre la renta, dependiendo del proyecto) para fomentar la generación eólica y solar. Asimismo, la Administración Nacional de Centrales Eléctricas y Transmisiones Eléctricas de Uruguay (UTE) contrató la compra de la generación futura proveniente de los parques eólicos. Para lograr una demanda y precios estables, a las empresas privadas se les permitió participar en subastas de contratos de energía eólica de hasta 20 años, lo que también les permitió vender energía excedente en el mercado spot. UTE ha realizado varias subastas para energía eólica y solar (IEEFA, 2018).¹⁷

Uruguay también tenía un decreto (77/006) en el que la compañía de electricidad del estado tenía que comprar una cierta cantidad de energía renovable. Este fue el primer paso para la reconversión del sector energético en el que el capital privado fue aceptado a través de procesos competitivos, y se crearon incentivos para el desarrollo y la inversión en la generación nacional.

Como se mencionó anteriormente, existen algunos desafíos para tener un alto porcentaje de generación de energía renovable, principalmente energía eólica y solar, pero Uruguay ha establecido un conjunto de opciones para hacer que la red sea más flexible. Tales pasos incluyen incentivar la generación de respaldo flexible para equilibrar la variabilidad de la energía eólica, tener una producción hidroeléctrica flexible y usar la interconexión transfronteriza para importar principalmente de Brasil y Argentina; así como para exportar excedentes de generación cuando la energía eólica y solar estén totalmente disponibles (IEEFA, 2018).¹⁸

2.2 Sector Eléctrico Mexicano

Actores Clave del Sector Eléctrico Mexicano

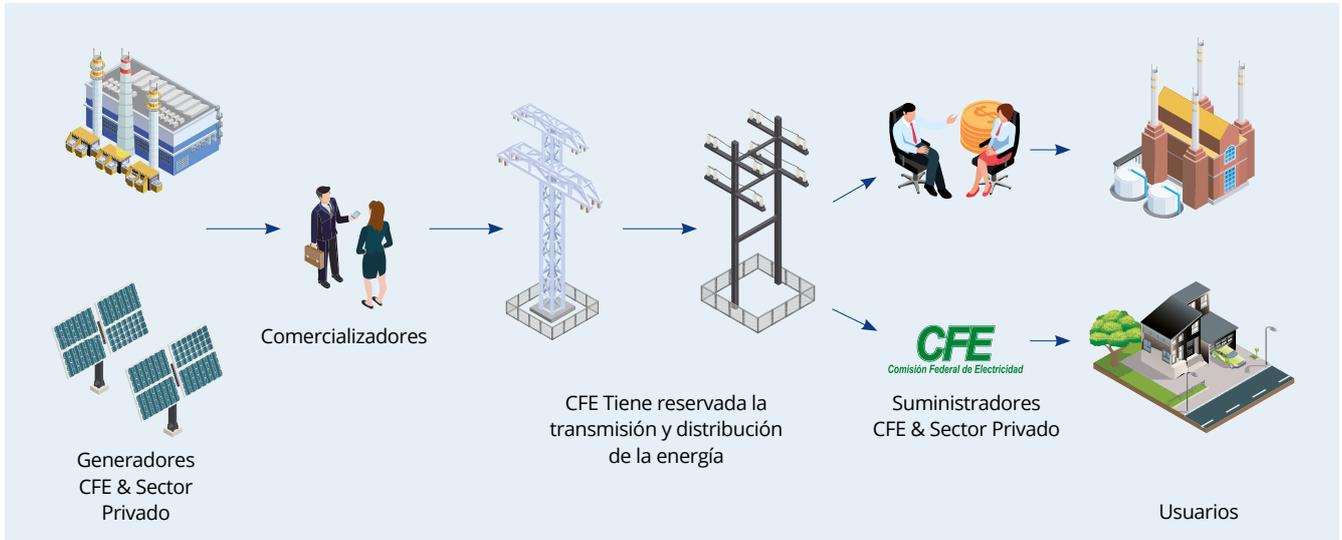
- Breve Explicación de Generadores, Proveedor de Servicios Básicos, Comercializadores y Usuarios Calificados

Existen diferentes tipos de actores en el sector eléctrico con características diferentes y específicas. A un alto nivel, se dividen por la actividad en la que participan: generadores, suministradores, comercializadores y usuarios.

17. Wynn, G. (2018). Power-Industry Transition, Here and Now Wind and Solar Won't Break the Grid: Nine Case Studies. Cleveland, EUA. Obtenido de Institute for Energy Economics and Financial Analysis Sitio web: https://ieefa.org/wp-content/uploads/2018/02/Power-Industry-Transition-Here-and-Now_February-2018.pdf

18. Wynn, G. (2018). A Renewable Energy Revolution in Uruguay for All the World to See. Cleveland, EUA. Obtenido de Institute for Energy Economics and Financial Analysis Sitio web: <https://ieefa.org/ieefa-update-a-renewable-energy-revolution-in-uruguay-for-all-the-world-to-see/>

Gráfico 2.4 - Cadena de Valor de la Electricidad en México



Alianza Energética, 2020

Generadores

Son las entidades públicas o privadas que poseen una planta, granja o algún tipo de infraestructura para generar electricidad. Los generadores se pueden dividir en:



- **Generadores**
Los titulares de un permiso emitido por la CRE que les permite generar electricidad, tienen una capacidad superior a 0,5 MW y tienen un contrato para participar en el mercado mayorista de electricidad. Generan energía para venderla a través de subastas, a un usuario calificado, a un proveedor de servicios calificado o en el mercado spot.



- **Generadores Exentos**
Aquellos con plantas de energía con una capacidad de menos de 0.5MW y que por lo tanto no requieren un permiso de generación. Utilizan o venden su energía al proveedor de servicios básicos según el Precio Marginal Local (PML) definido por CENACE.

Comercializadores

Compran y venden energía sin producirla ni proporcionarla a los usuarios finales.



- **Comercializadores no Suministradores**
Empresas que están interesadas en participar en el Mercado Eléctrico Mayorista sin proporcionar el servicio de suministro y solo buscan comercializar energía. Algunas de las actividades permitidas de este actor son las transacciones de comercialización de energía y servicios relacionados, las importaciones, exportaciones y contratos de cobertura de energía y electricidad.

Suministradores

Empresas que suministran electricidad a cualquier tipo de usuario.



- **Suministrador de Servicios Básicos**
Llevan el servicio de electricidad a todos los usuarios que no participan en el Mercado Eléctrico Mayorista directa o indirectamente. Hasta ahora, el único proveedor de servicios básicos es CFE.

- **Suministrador Calificado**
Compran electricidad en el Mercado Eléctrico Mayorista para proporcionar servicio de energía a usuarios calificados. Para obtener el permiso, deben indicar un área de operación, usuarios finales y ventas esperadas.



- **Suministrador de Último Recurso:**
Representa a usuarios calificados por un tiempo limitado, a fin de mantener la continuidad del servicio cuando un proveedor de servicios calificado deja de proporcionar el suministro de electricidad. En otras palabras, ofrecen el servicio de respaldo.

Usuarios

Usuarios finales de la electricidad, considerando casas, negocios, plantas de fabricación, etc.



- **Usuario Básico**
Consumidores con una baja demanda de electricidad de menos de 1MW. Adquieren electricidad a proveedores de servicios básicos a un precio regulado.



- **Usuario Calificado**
Son usuarios con una demanda superior a 1 MW. Deben suscribirse en el registro de usuarios calificados, a menos que reciban su electricidad del servicio público antes de la nueva ley, en este caso tienen la opción de registrarse como usuarios calificados o no.

- **Usuario Calificado Participante del Mercado**
Los usuarios calificados con una demanda mínima de 5MW y un consumo anual mínimo de 20GWh pueden participar directamente en el mercado mayorista de electricidad sin la necesidad de operar a través de un vendedor o proveedor.

Sector Público

Entidades Reguladoras y su Función

En la Reforma Energética se establecieron diversas funciones y responsabilidades para que las entidades reguladoras del sector brinden seguridad jurídica a los participantes, acceso a la información y creen las condiciones competitivas para el desarrollo adecuado de la industria.

- **SENER**
Lleva a cabo la política energética del país considerando los hidrocarburos y la electricidad dentro del marco constitucional actual. Además, tiene la responsabilidad de garantizar el suministro de energía competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sostenible que requiere el desarrollo de la nación. Promueve la investigación en nuevas tecnologías y es responsable del desarrollo y planificación del Programa Nacional de Desarrollo del Sistema Eléctrico (PRODESEN).
- **Comisión Reguladora de Energía (CRE)**
Es una organización bajo la Administración Pública Federal centralizada (APF), como un organismo regulador coordinado en materia de energía.

La CRE está dotada de autonomía técnica, operativa y de gestión, y tiene su propia personalidad jurídica y capacidad para disponer de los ingresos derivados de las contribuciones y consideraciones establecidas para los servicios que presta de acuerdo con sus atribuciones y poderes.

Esta organización también es responsable de regular y otorgar los diferentes permisos necesarios en los sectores de electricidad y petróleo y gas, así como de emitir y aplicar la regulación tarifaria. Adicionalmente supervisa los mecanismos de autorización, revisión, ajuste y actualización de las disposiciones operativas del mercado.

- **Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE)**
Promueve la eficiencia energética y opera como una entidad técnica en términos de uso sostenible de la energía. Asimismo, identifica las mejores prácticas internacionales en términos de programas y proyectos de eficiencia energética y emite las normas oficiales mexicanas.

- **CENACE**
Es una entidad pública descentralizada cuyo propósito es ejercer el control operativo del Sistema Eléctrico Nacional y del Mercado Eléctrico Mayorista y garantizar la imparcialidad en el acceso a la red nacional de transmisión y a las redes generales de distribución.

Como operador independiente del sistema, realiza sus funciones bajo los principios de eficiencia, transparencia y objetividad, cumpliendo los criterios de calidad, confiabilidad, continuidad, seguridad y sostenibilidad en la operación y control del Sistema Eléctrico Nacional. También tiene la responsabilidad de respaldar de manera eficiente las transacciones de electricidad entre generadores y consumidores.

Realiza la operación del Mercado Eléctrico Mayorista en condiciones que promueven la competencia, la eficiencia y la imparcialidad, a través de la asignación y el despacho óptimo de las centrales eléctricas para satisfacer la demanda energética del Sistema Eléctrico Nacional.

Es responsable de formular los programas de expansión y modernización de la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución, que, en caso de ser autorizadas por SENER, se incorporan al PRODESEN.

Descripción de Cada División de CFE

- **CFE Generación**
Genera energía eléctrica a través de cualquier tecnología en territorio nacional. Se divide en 6 filiales diferentes.
- **CFE Transmisión**
Transmisión de energía eléctrica y financiación, instalación, mantenimiento, gestión, operación y expansión de la infraestructura necesaria para prestar el servicio de transmisión pública.

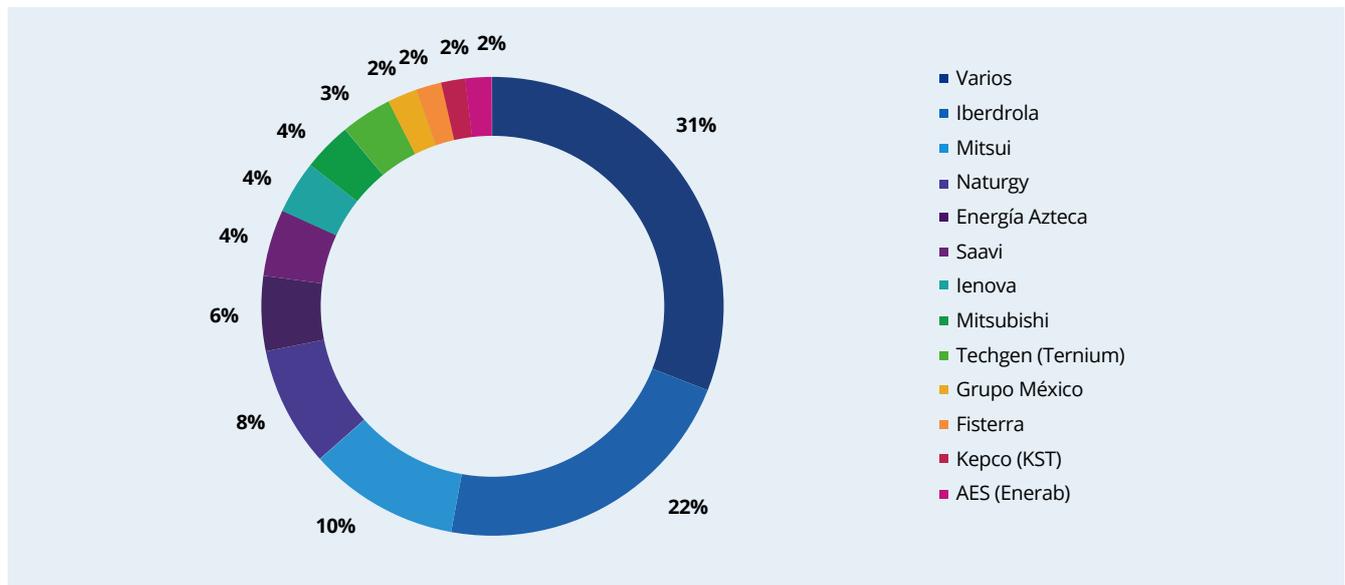
- **CFE Distribución**
Distribución de energía eléctrica y financiamiento, instalación, mantenimiento, gestión, operación y expansión de la infraestructura necesaria para prestar el servicio de distribución pública.
- **CFE Suministro Básico**
Compra energía de subastas, mercados mayoristas y contratos de cobertura eléctrica. Suministra electricidad a los consumidores del servicio básico.
- **CFE Suministro Calificado**
Compra energía de subastas, mercados mayoristas y contratos de cobertura eléctrica. Suministra electricidad a los consumidores de servicio calificado.
- **CFE Energía**
Importa gas natural y otros commodities de CFE International (EE. UU.), Así como sus fuentes locales de commodities.
- **CFE Internacional**
Exporta insumos de generación de electricidad (principalmente gas natural) a México y vende directamente a CFE Energía.
- **CFE Generación nuclear**
Es responsable de la generación nuclear en el país.
- **Contratos Legados**
Estos contratos se asignan a suministradores y generadores durante la separación de una empresa integrada verticalmente (en este caso CFE), al establecer un precio para la generación de centrales eléctricas legadas, se asegura que los grandes generadores no intenten elevar el precio de la energía en su zona (SENER, 2014)¹⁹. Esta compañía de CFE administra los contratos de interconexión heredados, los acuerdos para la venta de energía eléctrica excedente y los otros contratos asociados suscritos por CFE.

Sector Privado

• Principales Generadores y su Cuota de Mercado

México es un destino relevante para la inversión extranjera en el sector energético, muchos actores internacionales ya han ingresado al mercado debido a las oportunidades comerciales y al potencial de energía renovable. Iberdrola es el líder del mercado en generación representando el 22% de la capacidad de generación privada total en el país, seguido de Mitsui, Naturgy y Energía Azteca con una participación del 10%, 8% y 6% respectivamente.

19. Subsecretaría de Electricidad. (2014). CONTRATOS LEGADOS PARA EL SUMINISTRO BÁSICO. Ciudad de México, México. Obtenido de SENER Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/258356/Nota_explicativa_contratos_legados.pdf

Gráfico 2.5 - Principales Generadores y su Participación de Mercado

Alianza Energética, 2020

• Oportunidades Adicionales a Privados

El Mercado Eléctrico Mayorista abre varias oportunidades para el sector privado y los particulares. Algunas de las principales oportunidades se encuentran dentro de la generación de electricidad ya que no es necesario invertir millones para instalar generar electricidad. Hoy en día, un hogar puede instalar paneles solares y consumir la energía que produce o incluso venderla a los suministradores de electricidad, o con una mayor inversión, los privados pueden generar electricidad con diferentes tecnologías a gran escala, excepto para la generación nuclear la cual está reservada para el Estado.

El sector privado puede tener contratos con el estado para proporcionar servicios a la red nacional. Estos servicios incluyen la expansión o modernización de la red, así como servicios operativos y de mantenimiento. Los privados también pueden comprar y vender energía incluso si no la producen ellos mismos y la venden a los consumidores finales.

Mercado Eléctrico Mayorista

• Descripción y Objetivos del MEM

El Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) se creó con el objetivo principal de suministrar energía a precios competitivos para que todos los usuarios puedan beneficiarse de la adquisición de energía a precios más asequibles. Los interesados en participar en el mercado de la electricidad pueden hacerlo bajo seis modalidades: como Generador, Usuario calificado, Suministrador de servicios básicos, Suministrador de servicios calificados, Suministrador de

último recurso y Comercializador no proveedor, siempre que cumplan con los requisitos establecidos por la Ley.

CENACE, un organismo público e independiente que no participa en el mercado y está a cargo del Mercado Eléctrico Mayorista para dar certeza y transparencia a las transacciones entre los participantes de la industria. Las transacciones incluyen la compra y venta de energía, certificados de energía limpia, derechos financieros de transmisión, potencia y servicios conexos. Es decir, todos los productos que se requieren para el funcionamiento óptimo y confiable del Sistema Eléctrico Nacional, y cada producto tiene diferentes opciones en las que se puede comprar o vender.

• Energía

Es el principal producto comercializado en el MEM, se refiere a la energía eléctrica producida por los generadores. Hay diferentes formas de intercambiar energía;

- Mercado de Corto Plazo: en Tiempo Real, por Día en Adelantado y por Hora.

Mercado en el que se compra y vende energía, consiste en la demanda de energía de proveedores y usuarios calificados que participan en el mercado y el suministro de generadores. Las transacciones que se realizan en este mercado se realizan bajo las tarifas del Precio Marginal Local (PML). El CENACE es el operador del mercado y se encarga de realizar las instrucciones de despacho de energía para generar un equilibrio entre la oferta y la demanda. Hay tres categorías dentro del mercado a corto plazo, estas son:

- Mercado de día en adelante: hay ofertas para comprar y vender energía para usar al día siguiente
- Mercado de hora en adelante: hay ofertas para comprar y vender energía para usar la próxima hora
- Mercado en tiempo real: la energía se comercializa en tiempo real.

- **Subastas de Medio y Largo Plazo:**

Bajo este mecanismo, los compradores ofrecen ofertas de compra y los vendedores presentan ofertas de venta. El objetivo de las subastas es celebrar contratos de cobertura de electricidad de manera competitiva para satisfacer la demanda bajo los precios más atractivos y reducir la exposición a la variación de precios. Las subastas de mediano plazo son válidas por tres años y en ellas hay ofertas para intercambiar energía y potencia. En las subastas de largo plazo existen ofertas para el comercio de energía, potencia y Certificados de Energía Limpia (CEL) en los que el suministrador de usuario básico firma contratos de cobertura eléctrica con generadores para comprar energía a precios competitivos. Las subastas ahora están suspendidas hasta nuevo aviso por parte del gobierno mexicano.

- **Potencia**

Es un producto que los generadores pueden vender a través del Mercado Eléctrico Mayorista. Se define como el compromiso de mantener la capacidad de generación disponible durante un período determinado. El mercado de potencia opera anualmente y la potencia que cada generador puede vender al mercado se define por las 100 horas más críticas del año pasado.

Las Entidades Responsables de Carga (ERC) tienen la obligación de comprar potencia del mercado; ERC se refiere a suministradores, usuarios calificados y generadores que participan en el mercado. El CENACE es el que determina la cantidad de potencia que cada entidad responsable de la carga debe comprar.

- **Derechos Financieros de Transmisión**

Los Derechos Financieros de Transmisión (DFT) otorgan al titular el derecho y la obligación de cobrar o pagar la diferencia resultante del valor de los componentes de congestión marginal en los precios marginales locales en dos nodos, un nodo de origen y un nodo de destino.

Es un mecanismo que ayuda a reducir la exposición de la diferencia de precio de un nodo a otro considerando la congestión de la red de transmisión. Tener derechos financieros de transmisión no otorga el derecho físico de usar la red de transmisión. Se calculan con base en el precio marginal local.

Hay cuatro formas en las que una empresa puede adquirir derechos financieros de transmisión; por legado, a través de subastas, por contratos bilaterales y financiando la expansión de la red.

- **Certificados de Energía Limpia (CEL)**

Uno de los objetivos de la Reforma Energética era incentivar la inversión de nueva generación de energía renovable. El principal instrumento creado para incentivar la inversión en energía renovable fueron los CEL. Los CEL son certificados de origen otorgados a aquellos generadores que generan energía limpia. Reciben 1 CEL por cada MWh de energía limpia generada.

Por ley, todos los suministradores, usuarios calificados que participan en el mercado, usuarios de suministro aislado y titulares de contratos de interconexión legados tienen la obligación de comprar un cierto porcentaje de CEL. En 2020, el porcentaje es del 7,4%, por lo que los generadores de energía limpia venden su CEL a estos jugadores y los generadores obtienen una fuente adicional de ingresos como recompensa.

Los participantes del mercado pueden realizar ofertas de compra y venta de CEL a cualquier precio que deseen, y comprar o vender al precio de cualquier oferta existente. Con esto, el precio de los CEL está determinado por la oferta y la demanda.

- **Servicios Conexos**

Los Servicios conexos se definen como los servicios vinculados a la operación del Sistema Eléctrico Nacional y son necesarios para garantizar su calidad, confiabilidad, continuidad y seguridad, que pueden incluir: reservas operativas, reservas rodantes, regulación de frecuencia, regulación de voltaje y arranque de emergencia, entre otros, definidos en las reglas del mercado.

El CENACE debe calcular los requisitos en cuanto a servicios conexos, considerando: el riesgo de desconexiones de la central eléctrica, salidas de transmisión no planificadas y variabilidad y errores de pronóstico de generación intermitente y de carga.

• Mercado PPA

Existe otro mercado en el que se puede comercializar energía y otros productos del MEM (energía, CEL, derechos financieros de transmisión). Se denominan contratos bilaterales, también conocidos como PPA (por sus siglas en inglés Power Purchase Agreement), son contratos entre un generador y un usuario calificado donde se define una transacción de energía por un período determinado a un precio determinado. Los PPAs ayudan al usuario calificado a tener menos exposición a las variaciones en el precio de la electricidad y, por otro lado, ayuda al generador a conocer sus flujos de efectivo futuros y asegurar un ingreso estable.

2.3 Consideraciones y Oportunidades Clave de la Industria

Objetivos de Sostenibilidad y Cambio Climático



• Acuerdo de París

El 12 de diciembre de 2015, en la COP21 en París, las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) llegaron a un acuerdo histórico para combatir el cambio climático y acelerar e intensificar las acciones e inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono. Actualmente hay 189 partes que han ratificado el Acuerdo de París de las 197 partes de la convención (ONU, 2020).²⁰

El objetivo principal del Acuerdo de París es fortalecer la respuesta global a la amenaza del cambio climático. Para que esto sea posible, los participantes del acuerdo han establecido varios objetivos, procedimientos y compromisos que ayudarán a detener y revertir los efectos del cambio climático.

Uno de los principales compromisos de este acuerdo es limitar el aumento de la temperatura global por debajo de 2 grados centígrados, mientras se continúan los esfuerzos para limitarlo a 1,5 grados, así como las limitaciones nacionales para las emisiones de gases de efecto invernadero. México, por ejemplo, acordó reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y carbono negro en un 25% para 2030. En 2017, México tuvo emisiones de CO₂

de 3.8 toneladas per cápita por año, lo que representa un cierto progreso con respecto a las 4.36 toneladas per cápita por año emitidas en 2008, pero todavía hay mucho por hacer para volver a las emisiones de gas antes de los tiempos industriales. (Our World In Data, 2019)²¹. Para que el Sector Energético Mexicano logre este compromiso, se requiere un aumento en la eficiencia energética y la generación de energía renovable.

También existe la obligación de que todas las partes informen periódicamente sobre sus emisiones y sobre su cumplimiento. También habrá un balance global cada cinco años para evaluar el progreso colectivo hacia el propósito del acuerdo e informar sobre nuevas medidas individuales de las partes. México también es parte de la Alianza Geotérmica Global, que se lanzó en la COP21, y sirve como plataforma para el diálogo, la cooperación y la acción coordinada entre la industria geotérmica. La Alianza tiene el objetivo de lograr un crecimiento de cinco veces la capacidad instalada para la generación de energía geotérmica y un crecimiento de más del doble en la calefacción geotérmica para 2030.



• Agenda 2030

El 25 de septiembre de 2015, más de 150 líderes mundiales asistieron a la Cumbre de las Naciones Unidas en Nueva York para discutir y aprobar la Agenda para el Desarrollo Sostenible. Este documento incluye los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el objetivo de acabar con la pobreza, luchar contra la desigualdad y la injusticia, y hacer frente al cambio climático sin que nadie se quede atrás para 2030.

De estos 17 ODS, existe un objetivo específico para las energías renovables, denominado “Energía asequible y no contaminante”, este objetivo busca otorgar acceso a energía asequible, confiable y sostenible para todos. Para lograr este objetivo, México se ha comprometido a tomar varias medidas, como duplicar la inversión gubernamental en innovación y desarrollo tecnológico para energía limpia para 2020, lograr mediante el fondo de servicio eléctrico universal el 99.8% de la electrificación para 2024, producir el 37.7% de electricidad con energía limpia para 2024 y reducir anualmente la intensidad del consumo final de energía 1.9% de 2016 a 2030.

20. United Nations. (2015). Paris Agreement. París, Francia. Obtenido de United Nations Sitio web: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf

21. Ritchie, H. & Roser, M. (2019). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Oxford, Inglaterra. Obtenido de Our World in Data Sitio web: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions> Our World in Data (December 2019), CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Sitio web: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

• Estado Actual de la transición Energética²²

Para cumplir con los compromisos internacionales anteriores de combatir el cambio climático y ser más sostenible, México ha establecido una Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios en la Ley de Transición Energética. Esta estrategia define los siguientes instrumentos de planificación en el campo de la energía limpia y el uso sostenible: el Programa Especial de la Transición Energética (PETE) y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sostenible de la Energía (PRONASE).

El objetivo de PETE es implementar las acciones establecidas en la propia estrategia APF, asegurando su viabilidad económica. También establece prestar especial atención a la extensión y modernización de la red de transmisión en áreas con alto potencial de energía limpia que permita su penetración en condiciones de sostenibilidad económica.

Por otro lado, el PRONASE es el instrumento a través del cual se establecen objetivos, metas, estrategias y acciones que permitirán lograr el uso óptimo de la energía en todos los procesos y actividades de la cadena energética, desde la explotación hasta el uso final. Los seis objetivos en los que se basa el Programa para promover la eficiencia energética en el país son:

- Desarrollo de programas de eficiencia energética.
- Crear una regulación de eficiencia energética.
- Establecer mecanismos de cooperación entre organizaciones públicas, privadas, académicas y sociales.²³
- Fortalecimiento de las capacidades institucionales.
- Fomentar una cultura de ahorro energético.
- Invertir en investigación y desarrollo tecnológico.

Según la última publicación del Informe de progreso de energía limpia publicado por SENER, hasta junio de 2018, México generó el 17.3% de las energías renovables y el 6.8% de otras energías limpias. Esto significa que en 2018 México generó el 24,12% de su electricidad a partir de fuentes limpias, falta solo el 0,88% para cumplir con los objetivos de transición energética. Este es un aumento significativo considerando que en 2016 solo el 19.6% de la generación de electricidad provino de fuentes limpias.

La energía solar es la fuente de generación renovable que más ha aumentado en el país, creciendo a un ritmo exponencial. En 2016, la generación de energía solar fue de 215 GWh, mientras que en 2017 fue de 1.150 GWh y en el primer semestre de 2018 la generación solar fue 5 veces la generación del primer semestre de 2017.

La energía eólica también ha tenido un crecimiento acelerado en los últimos años, ya que el 98% de la capacidad instalada de energía eólica actual se ha construido en los últimos 6 años y la generación en el primer semestre de 2018 fue un 19,6% mayor que en el mismo período de 2017.

Dirección del Sector en Términos Regulatorios

El presidente Andrés Manuel López Obrador (AMLO) ha hecho varias declaraciones sobre el sector energético en México. El presidente mencionó que CFE desempeñará un papel importante en la distribución de electricidad en el país para cumplir su función social, pero no será un monopolio. Afirmó que, para el gobierno, es una prioridad invertir en el sector energético para promover el desarrollo nacional y obtener la autosuficiencia energética.

Uno de los principales objetivos estratégicos que el gobierno actual ha establecido es fortalecer a CFE para que pueda competir contra el sector privado, y esto se planea hacer a través de la inversión pública. AMLO dijo que el gobierno federal invertirá en la modernización de más de 60 centrales hidroeléctricas para potenciar la infraestructura actual y hacer más eficientes estas centrales hidroeléctricas, que son una fuente de energía renovable y barata (El Financiero, 2018).²⁴

La perspectiva de la administración hacia la reforma energética es que seguirá vigente, sin embargo, hay algunas particularidades que pueden cambiar.

Tendencias y Retos del Sector Energético Mexicano

• Tendencias en el Sector Energético

Hay tendencias que han influenciado el sector eléctrico desde sus principios, por ejemplo, la demanda de energía en constante cambio y crecimiento. Antes, un hogar solo necesitaría electricidad para encender algunas bombillas y tal vez una radio, pero la cantidad de dispositivos que consumen electricidad ha aumentado drásticamente. Además del aumento del consumo de electricidad en un hogar, el crecimiento de la población también ha sido un factor importante para el aumento de la demanda de electricidad.

22. Beltrán, L., Villanueva, E., Muñozcano, L., Rodríguez, J., Ramírez, M., Portepetit, A., Ramírez, A., Rocha, D., Avila, D., Lourdes, M., Rangel, R. & Ramones, F. (2018). Reporte de avance de energías limpias. Ciudad de México, México. Obtenido de Secretaría de energía de México Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418391/RAEL_Primer_Semestre_2018.pdf

23. SENER. (2016). Programa Nacional Para Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Ciudad de México, México. Obtenido de SENER Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185047/PRONASE20160d04112016concomentariosCCTE_0812116CSVersionFinalcomprimida.pdf

24. Hernández, A. (2018). Autosuficiencia energética de México no se dará a corto plazo: AMLO. Ciudad de México, México. Obtenido de El Financiero Sitio web: <https://elfinanciero.com.mx/nacional/cfe-generara-competencia-con-proveedores-de-energia-para-abaratar-tarifas-lopez-obrador>

Las tendencias recientes también están remodelando el sector energético, estas tendencias se conocen como las “3D” y consisten en descarbonización, descentralización y digitalización.

La descarbonización se refiere a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero como CO₂ o CH₄. Las Naciones Unidas (ONU), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), así como los gobiernos locales, han buscado incentivar y fomentar iniciativas para ayudar al mundo y la economía a descarbonizarse. El uso de energía renovable es clave para reducir la emisión de gases de efecto invernadero porque no se necesitan combustibles fósiles para producir electricidad. Con la reducción de las emisiones de efecto invernadero, disminuirémos el calentamiento global y mitigaremos el impacto negativo irreversible en el clima global.

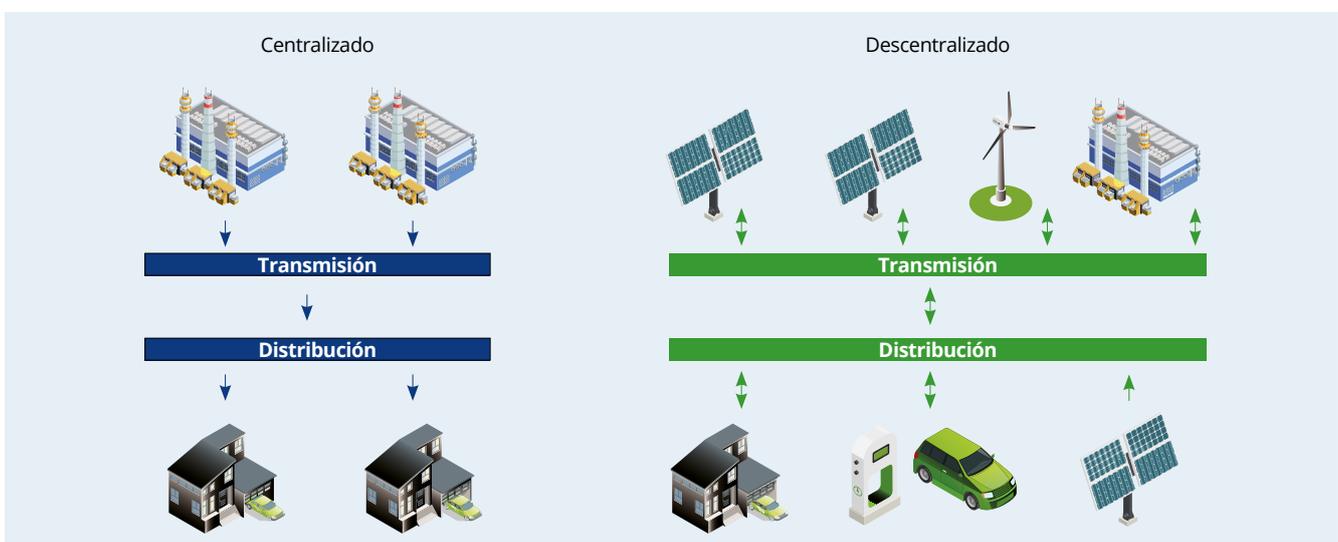
La digitalización significa la adopción de nuevas tecnologías digitales para el sector eléctrico. Los componentes de la digitalización, como los sensores, el software de soporte y los datos aplicados a la estructura y operación de los sistemas de energía actuales, pueden proporcionar una serie de mejoras, ayudando a reducir costos y aumentar la eficiencia en toda la cadena de valor eléctrica. La digitalización aplica a todo tipo de plantas de energía, así como a las redes de transmisión y distribución y ofrece una variedad de oportunidades para mejorar el rendimiento en beneficio de empresas individuales, el sistema en su conjunto, los consumidores de energía y el medio ambiente.

El componente de conectividad de la digitalización tiene el potencial de remodelar el sector eléctrico conectando el suministro eléctrico con sectores clave de demanda como el transporte, los edificios y la industria. La Agencia Internacional de Energía (IEA) estima que el ahorro general de estas medidas habilitadas digitalmente podría ser del orden de USD 80 mil millones por año durante 2016-2040 (AIE, 2017).²⁵ Un aspecto importante a tener en cuenta cuando se habla de digitalización es que con la cantidad y el detalle cada vez mayor de datos, la ciberseguridad, la privacidad y la seguridad de los datos adquieren una gran relevancia.

Sin embargo, la perspectiva laboral de la industria también debe ser considerado para que la digitalización prospere en realidad, actualmente existe una falta de conocimiento requerido para implementar estrategias digitales en la transición energética. Angélica Quiñones, presidenta de ANES, argumenta que se necesita un cambio de paradigma para incentivar a la industria hacia nuevos empleos que surgirán en el sector. En lugar de ver las nuevas tecnologías como una amenaza, deben verse como una oportunidad de creación de empleos a lo largo de este proceso, de lo contrario el sector tendrá una fuerza laboral ineficiente con un exceso de oferta de trabajadores con habilidades obsoletas y un escaso grupo de capital humano disponible con las competencias técnicas y funcionales exigidas en una industria digitalizada.

La descentralización se refiere al cambio en la estructura del sector, de uno donde unas pocas plantas eléctricas centralizadas generan la mayor parte de la electricidad a uno donde hay muchos generadores dispersos que producen pequeñas cantidades de energía (como paneles fotovoltaicos en los tejados).

Gráfico 2.6 - Modelo Centralizado vs Descentralizado



Alianza Energética, 2020

Este proceso tiene una variedad de beneficios para el sector eléctrico. Por ejemplo, la generación distribuida disminuye la congestión de la red ya que la electricidad se produce en el mismo lugar donde se consume y no hay necesidad de usar la red de transmisión y distribución. Esto evitará las pérdidas de energía que ocurren en toda la red y ayudará a que la red esté menos congestionada. También ayudará a suministrar energía a la población marginada en la que la infraestructura de distribución puede ser limitada. Sin embargo, la descentralización todavía tiene algunos desafíos, como el aumento de la complejidad en la red y el mercado. Con los consumidores convirtiéndose en prosumidores, CENACE tiene que monitorear la cantidad exacta de energía inyectada y extraída de la red y calcularla en las diferentes tasas en las que ocurren las transacciones. Esto requerirá un operador

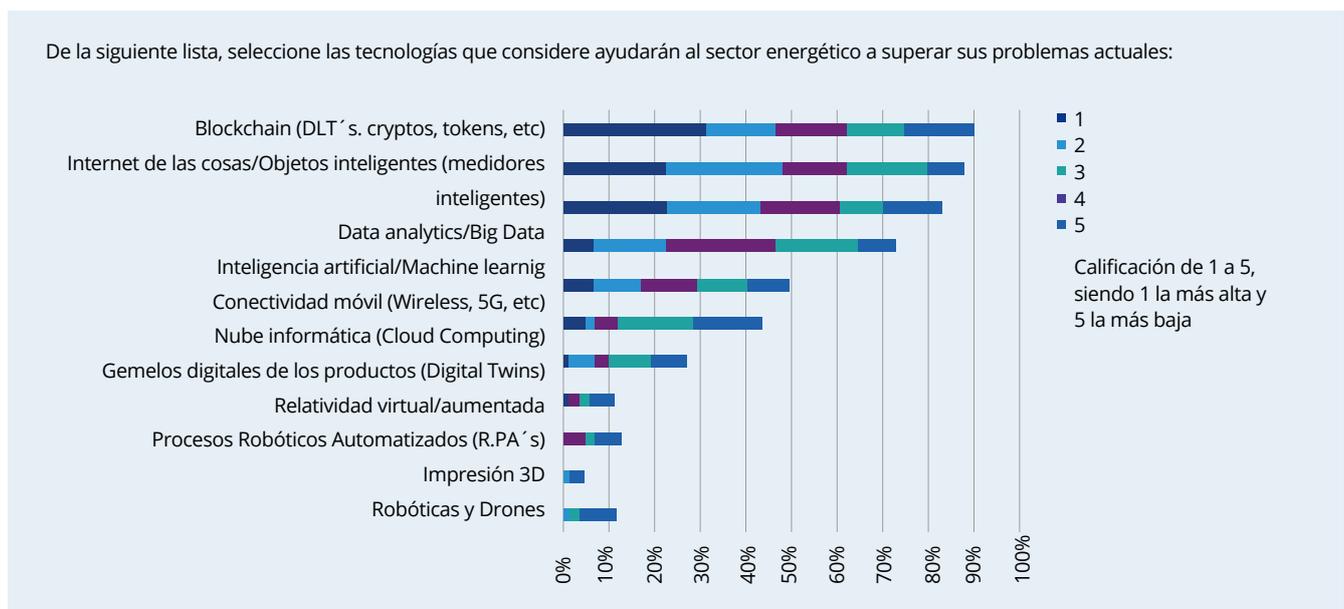
inteligente y eficiente para administrar y monitorear la gran cantidad de información, probablemente apoyado en tecnologías descentralizadas como Blockchain.

Digitalización en el Sector Energético

• Avances Tecnológicos y Oportunidades en el Sector

Ha habido varios avances tecnológicos que han ayudado a que la red eléctrica mexicana sea más segura y dinámica, manteniendo un suministro seguro. Se preguntó a las y los expertos consultados para el estudio, qué tecnologías consideran que ayudarán al sector energético a superar sus principales desafíos actuales, las respuestas obtenidas se muestran en el siguiente cuadro, seguido de una descripción y un contexto general de cada tecnología:

Gráfico 2.7 - Tecnologías a Considerar Para la Digitalización del Sector



Alianza Energética, 2020

Expertos consideran que la tecnología de mayor relevancia para ayudar al sector energético a superar sus problemas es Blockchain. El capítulo 3 analiza dicha tecnología y sus principales funcionalidades a detalles. A continuación, se describen otras tecnologías consideradas de alta relevancia por expertos consultados.

• Internet de las Cosas (IoT):

Describe la red de objetos físicos (cosas) que tienen sensores integrados, software y otras tecnologías para conectarse e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de internet. Estos dispositivos van desde objetos domésticos cotidianos hasta herramientas industriales sofisticadas. Se estima que en 2019 había 26,6 mil millones de dispositivos conectados a internet y se espera que aumente a 75,4 mil millones para 2025 (CD-Center, 2020).²⁶

26. Muykim, C. (2020). The Internet of Things (IoT): The Network of Networks. Phnom Penh, Camboya. Obtenido de Cambodia Development Center Sitio web: http://cd-center.org/wp-content/uploads/2020/02/P127_20200210_V2IS1.pdf

A medida que los sistemas eléctricos se vuelven más complejos y descentralizados, las aplicaciones de IoT mejoran la visibilidad y la capacidad de respuesta de los dispositivos conectados a la red.

Las características de las smart grids incluyen el flujo bidireccional controlable de energía eléctrica, el flujo de información automatizado y bidireccional e incluso los sistemas de despacho automático. Los medidores inteligentes, por ejemplo, monitorean el consumo de energía en tiempo real, calculan dinámicamente el gasto y comparten datos entre los usuarios finales y las empresas de servicios públicos. Estos datos ayudan al operador a adaptar los programas de respuesta a la demanda y a ajustar los precios. Los usuarios, por otro lado, pueden controlar su consumo de electricidad a nivel granular respondiendo a los cambios de carga y limitando el desperdicio de energía.

Las innovaciones van desde termómetros inteligentes que maximizan la eficiencia energética al ajustar la temperatura de los hogares de los consumidores dependiendo de si están en casa; a tener un control remoto y gestión de todos los recursos distribuidos de energía.

En resumen, IoT es el estado de conectividad entre dispositivos que les permite intercambiar información e interactuar entre sí. IoT y Blockchain pueden crear sinergias cuando se utilizan en conjunto. Blockchain es una tecnología que almacena datos de forma descentralizada e inmutable y proporciona una serie de beneficios, pero necesita la entrada de datos desde otro lugar. IoT puede ayudar a alimentar a Blockchain con información en tiempo real.

- **Big Data:**

Se refiere a conjuntos de datos extremadamente grandes, tanto estructurados como no estructurados, así como a su procesamiento y análisis. El analista de la industria Douglas Laney definió big data como conjuntos de datos con 3 Vs; Volumen, velocidad y variedad. El valor agregado de Big Data no está definido por la cantidad de datos que recopila, sino por la forma en que se usa esa información para crear valor.

El sector eléctrico es un claro ejemplo de gestión de cantidades extremadamente grandes de información, incluidas las transacciones, la generación de cada central eléctrica o equipo renovable, el rendimiento de la red eléctrica y el consumo de cada usuario e incluso de cada dispositivo. Por lo tanto, Big Data se ha utilizado ampliamente en el sector energético. Sin embargo, todavía exis-



te un potencial sin explotar para aumentar la cantidad y la calidad de los datos, para luego analizar y obtener beneficios para la empresa o incluso para el sector.

Un ejemplo de uso de Big Data en el sector eléctrico es cuando las compañías de generación de energía recolectan grandes cantidades de datos para crear modelos que les ayuden a predecir el precio futuro de la energía, por lo que las compañías de generación de energía pueden planificar y cambiar su modelo operativo para enfrentar retos o aumentar las ganancias. También se requiere Big Data en la gestión del sistema eléctrico nacional, debido a la cantidad de información generada. Dado que los sistemas de almacenamiento no se utilizan en la red eléctrica nacional, al menos no en México, es importante hacer que la generación y el consumo coincidan. Esto podría ser un desafío, ya que es difícil determinar cuánto producir cuando se desconoce cuánto se consumirá. Big Data puede ayudar a pronosticar el consumo de energía analizando el comportamiento histórico del consumidor y los factores que impulsaron ese comportamiento.

Big Data puede contribuir con funciones analíticas en las que la información introducida a Blockchain se usa para encontrar hallazgos y crear valor. Por otro lado, Blockchain puede complementar Big Data, ya que ayuda a evitar información errónea derivada del doble gasto, manipulación de datos y ataques cibernéticos. Esto puede ser importante ya que de acuerdo con la encuesta “Estado de la ciencia de datos y el aprendizaje automático”, el desafío que los profesionales de datos consideran más relevante son los datos sucios (Kaggle, 2017).²⁷ En otras palabras, Blockchain proporciona integridad e inmutabilidad a los datos y Big Data ayuda a analizar la información para predicciones y otras soluciones. Sin embargo, es importante mencionar que los datos sucios siguen siendo sucios a pesar de Blockchain. Si introduce basura en Blockchain, se obtendrá basura como resultado.

• Inteligencia Artificial:

Se conoce como un área de informática que se centra en la creación de máquinas inteligentes que funcionan y reaccionan de manera similar a los humanos. Se refiere a sistemas que, en respuesta a los datos observados, recopilados y analizados, cambian el comportamiento. La Inteligencia Artificial puede ayudar a disminuir el tiempo de respuesta a los cambios reduciendo costos y riesgos. Por ejemplo, los transformadores son dispositivos, incorporados dentro de la red eléctrica, encargados de subir y bajar el voltaje en ambos extremos de las líneas

de transmisión y distribución. Estos transformadores, como cualquier otro dispositivo, pueden presentar un mal funcionamiento que causa fallas peligrosas en la red ya que los transformadores contienen grandes cantidades de aceite en contacto directo con componentes de alto voltaje. Esto aumenta el riesgo de incendios y explosiones (IIENG, 2015).²⁸ Los sensores en la red podrían notificar irregularidades en los transformadores y realizar acciones automáticamente ahorrando tiempo y disminuyendo el riesgo. AI actuará en función de la información que recibe y puede detener las operaciones e incluso activar un transformador de respaldo si está disponible.

AI puede definir qué hacer con la información que se introduce en Blockchain. Blockchain proporcionará una base de datos auditable y confiable y AI ayudará a realizar las acciones de acuerdo con la información recibida.

Se mencionaron otras tecnologías, y aunque no fueron mencionadas tanto como IoT, Big Data e IA; de igual manera brindan soluciones para que el sector energético supere sus retos. Algunas de estas tecnologías incluyen;

• Conectividad Móvil:

Esta tecnología permitirá que las organizaciones y sus clientes reciban información en cualquier momento, en cualquier lugar y que fluya a través de una gran cantidad de plataformas o dispositivos. Para adaptarse a este crecimiento exponencial de la demanda, los proveedores de comunicaciones están implementando la tecnología de conectividad de próxima generación (5G), que incluye densificación inalámbrica y por cable, computación de borde y redes definidas por software. Para los proveedores de energía y servicios públicos, estas inversiones pueden permitir mayores velocidades, tiempos de reacción más rápidos y más flexibilidad en la arquitectura de red. Ben Hertz-Shargel declaró en una entrevista que las comunicaciones a través de redes 5G permitirán la conexión de más dispositivos que participarán en el sistema, otorgando una mayor visibilidad de lo que sucede en la red al informar la situación del mercado y permitir la participación de recursos más pequeños.

27. Kaggle. (2017). Kaggle ML & DS Survey A big picture view of the state of data science and machine learning. California, USA. Obtenido de Kaggle Sitio web: <https://www.kaggle.com/kaggle/kaggle-survey-2017>
Kaggle. (2017). Kaggle ML & DS Survey A big picture view of the state of data science and machine learning. de Kaggle Sitio web: <https://www.kaggle.com/kaggle/kaggle-survey-2017>
28. Tariq, S., Affzal, R & Zia, A. (2015). Transformer Failures, Causes & Impact. Bali, Indonesia. Obtenido de International Conference Data Mining Sitio web: http://iieng.org/images/proceedings_pdf/8693E0215039.pdf

• Computación en la Nube:

La computación en la nube es la entrega de servicios informáticos, incluidos servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis e inteligencia, a través de Internet para ofrecer una innovación más rápida, recursos flexibles y economías de escala. Proporciona características tales como: creación de aplicaciones nativas de la nube, software on demand, transmisión de video y audio, computación ilimitada y capacidades analíticas avanzadas, y la capacidad de almacenar, respaldar y recuperar datos.²⁹ La principal diferencia entre la nube y Blockchain es que en la nube la información se almacena en un conjunto de datos centralizado, mientras que en Blockchain cada participante tiene una copia de la información en tiempo real.

• Digital Twins:

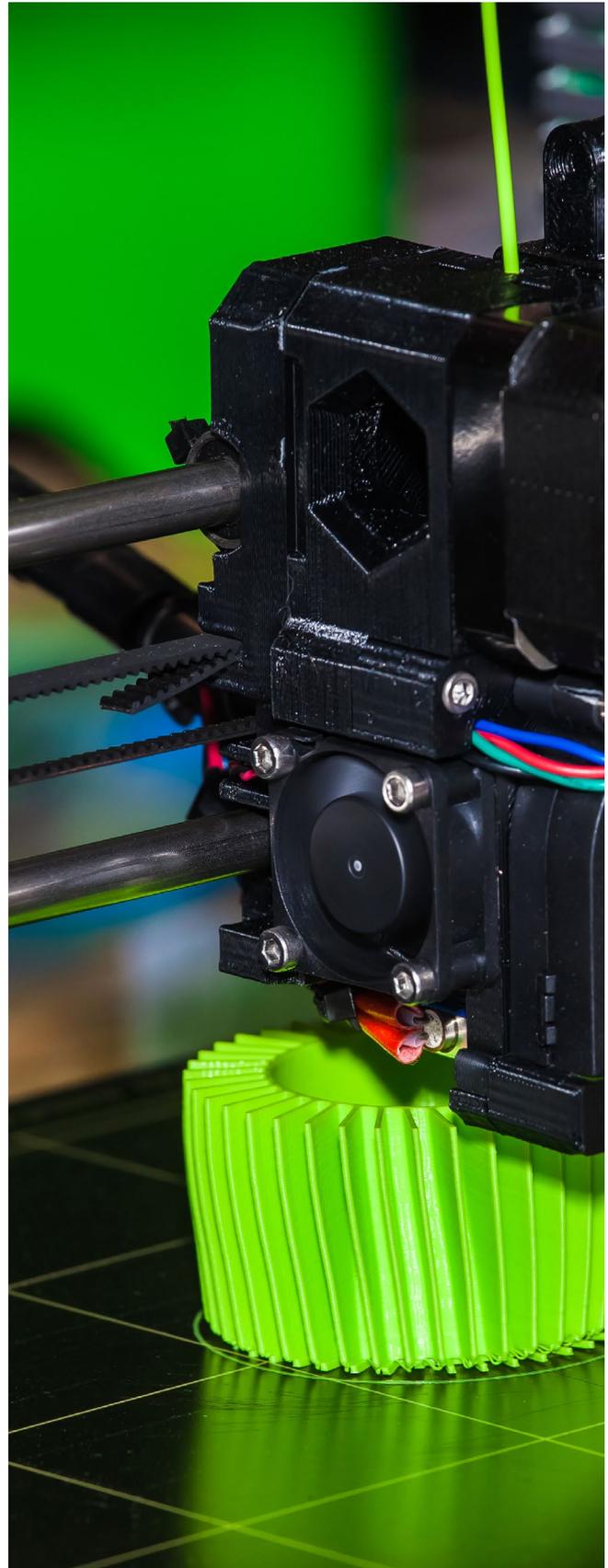
Son representaciones de activos y procesos mediante software que se utilizan para comprender, predecir y optimizar el rendimiento para lograr mejores resultados comerciales. Los digital twins constan de tres componentes: un modelo de datos, un conjunto de análisis o algoritmos y conocimiento. Algunos de los beneficios de esta tecnología son: mejor producción, menores costos de mantenimiento y menor riesgo.³⁰

• Automatización Robótica de Procesos:

La Automatización Robótica de Procesos (RPA) es el término utilizado para las herramientas de software que automatizan parcial o totalmente las actividades humanas que son manuales y repetitivas. Funcionan replicando las acciones de un humano real que interactúa con una o más aplicaciones de software para realizar tareas como el registro de datos, procesar transacciones o responder a simples consultas de servicio al cliente. Libera a los humanos de tareas monótonas y de bajo valor agregado como el registro de datos y crea disponibilidad para tareas de mayor valor que requieren creatividad humana, ingenio y toma de decisiones.³¹

• Robótica y Drones:

Las empresas de servicios de energía utilizan cada vez más la robótica para manejar la inspección de activos riesgosos, que requieren mucho tiempo y son de acceso difícil, así como para brindar mantenimiento a esos activos y mejorar sus operaciones. Los robots y los drones ahora juegan



29. Microsoft Azure. (2019). What is cloud computing? Washington, EUA. Obtenido de Microsoft Sitio web: <https://azure.microsoft.com/en-in/overview/what-is-cloud-computing/#uses>
 30. GE Digital. (2019). Digital Twin, Digitize assets and processes to enable better industrial outcomes. California, EUA. Obtenido de General Electric Sitio Web: <https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin>
 31. Aiim. (2020). Intelligent Information Management Glossary. Maryland, EUA. Obtenido de Aiim Sitio web: <https://www.aiim.org/What-is-Robotic-Process-Automation#>

un papel crucial en el espacio de los servicios públicos de energía en áreas tales como operaciones y mantenimiento (O&M) e inspección de activos, lo que genera ahorros en los costos de O&M.³²

• Realidad Virtual/Aumentada:

En la realidad virtual, una persona se inmersa en un mundo generado por computadora. La idea detrás de la realidad virtual es que estás separado del mundo real mientras experimentas al mundo virtual como real. En la realidad aumentada, por otro lado, el mundo real se ve aumentado por el contenido generado por computadora. Un ejemplo de cómo las empresas generadoras podrían utilizar esta tecnología es proporcionar a los empleados programas de capacitación virtual en los que la computadora genera una situación virtual y los empleados aprenden a responder sin riesgos del mundo real.³³

• Impresión 3D:

La impresión tridimensional (3-D) es un proceso de fabricación aditiva que crea un objeto físico a partir de un diseño digital. El proceso generalmente funciona colocando capas delgadas de material como plástico líquido o en polvo, y luego fusionando las capas. La impresión 3D puede crear piezas personalizadas y complejas más rápido que los procesos de fabricación tradicionales, los ingenieros han encontrado que la tecnología es una solución perfecta para proyectos de bajo volumen.

Los mayores beneficios se obtienen cuando estas tecnologías trabajan en conjunto. La integración de estas tecnologías en la red, trabajando juntas, permitiendo la comunicación bidireccional entre la empresa de servicios públicos y sus clientes, y el monitoreo a lo largo de las líneas de transmisión se conoce como smart grid. La comunicación constante en tiempo real entre consumidores, servicios públicos e infraestructura permite que el sistema administre y monitoree el consumo, la generación e incluso las fallas en la red.

Se estima que la digitalización en el sector energético reducirá en un 5% los costos de operación y mantenimiento, reducirá en un 5% las pérdidas totales

de la red, aumentará la eficiencia al aumentar un 5% la producción de electricidad por unidad de combustible y se extenderá en 5 años. La vida útil de redes y las centrales eléctricas (AIE, 2016).³⁴

Por ejemplo, los costos de operación y mantenimiento tienen una tendencia a disminuir, al igual que los costos de los equipos renovables, lo que permite que las personas y las pequeñas empresas comiencen a generar su propia energía instalando paneles solares en su techo o incluso equipos de energía eólica a pequeña escala. Esto requirió una red y medidores bidireccionales, llamados medidores inteligentes, que miden la energía consumida y la energía producida. El beneficio de estos medidores inteligentes no es solo medir la electricidad, sino que ahora registra en tiempo real el consumo de electricidad y no es necesario que un empleado de la empresa verifique el consumo directamente en el sitio. La penetración de medidores inteligentes en México aún es inmadura debido a su alto precio, pero a medida que más personas produzcan su propia energía, el uso de medidores inteligentes aumentará.

Al hablar sobre el futuro del sector eléctrico, es importante mencionar el papel de los vehículos eléctricos en él. En México, las ventas de vehículos híbridos y eléctricos aumentaron un 92% desde el primer semestre de 2018 hasta el mismo período de 2019. La penetración de vehículos eléctricos representará un aumento considerable en la demanda de electricidad. Según un informe de la (IEA) en 2018, el consumo de electricidad de los vehículos eléctricos fue de 58 TWh y se espera que llegue a 640 TWh en 2030 (IEA, 2019).^{xxiii} Sin embargo, es probable que, en lugar de ver a los vehículos eléctricos y la red eléctrica como elementos separados, funcionen en conjunto. Las flotas de vehículos eléctricos pueden crear una gran capacidad de almacenamiento de electricidad. Pueden actuar como cargas flexibles y como recursos de almacenamiento descentralizados, capaces de proporcionar flexibilidad adicional para soportar las operaciones del sistema eléctrico. Mediante la recarga inteligente, los vehículos eléctricos podrían adaptar sus patrones de recarga para aplanar la demanda máxima, llenar los valles de carga y facilitar el equilibrio de las redes ajustando sus niveles de recarga en tiempo real. El uso de vehículos eléctricos como un recurso de flexibilidad a través de recargas inteligentes

32. GlobalData Energy. (2019). Power utilities are placing their trust in robotics, reveals GlobalData. Reino Unido. Obtenido de Power technology Sitio Web: <https://www.power-technology.com/comment/power-utilities-are-placing-their-trust-in-robotics-reveals-globaldata/>

33. Bakker Elkhuisen. (2020). What are virtual and augmented reality? Vugth, Países Bajos. Obtenido de Bakker Elkhuisen Sitio : <https://www.bakkerelkhuisen.com/knowledge-center/what-are-virtual-and-augmented-reality/>

34. International Energy Agency. (2017). Digitalisation and Energy. París, Francia. Obtenido de International Energy Agency Sitio Web: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>

34. International Energy Agency. (2017). Digitalisation and Energy. de IEA Sitio web: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>

reduciría la necesidad de invertir en plantas de energía de combustibles fósiles flexibles, para equilibrar las energías renovables (IRENA, 2019).³⁵

La digitalización ha ayudado al sector a adaptarse a las nuevas tendencias y los cambios en la demanda, sin embargo, aún quedan algunos retos por superar. Uno de los principales desafíos en el sector es el almacenamiento de energía, que ha experimentado cierto progreso pero que aún no se utiliza a gran escala. El almacenamiento de electricidad sigue siendo muy costoso y podría no ser factible instalarlo en la red nacional. Las baterías tendrán un gran impacto en el sector eléctrico desde el punto de vista de la red, así como para el consumidor. Las baterías de gran escala permitirán que la red sea más estable, aliviarán la congestión de las líneas de transmisión y distribución, y se utilizarán como servicios de arranque. Los sistemas de almacenamiento de gran escala pueden permitir una mayor penetración de energía renovable intermitente en la red, almacenando el exceso de generación y asegurando el consumo de la energía renovable.

Desde el punto de vista del consumidor, las baterías llamadas “baterías detrás del medidor” que están conectadas a los medidores de consumidores residenciales, comerciales e industriales, ayudarán a administrar el consumo de energía y la inyección de energía a la red. Algunos de los beneficios que traerían las baterías del medidor es el aumento del autoconsumo de las energías renovables, los servicios de respaldo de energía y el ahorro en las facturas de electricidad.

La digitalización no es un resultado sino un proceso, esto significa que todavía tenemos mucho que ver de los retos futuros en el sector y los avances tecnológicos que nos ayudarán a superarlos. Una tecnología en particular en la que las personas y las empresas están interesadas actualmente debido a su alto potencial es Blockchain. Se espera que el valor global de Blockchain en el sector energético crezca de USD \$ 200 millones en 2018 a USD \$ 3 mil millones en 2025 debido a su creciente relevancia (Global Market Insights, 2019).³⁶



35. IRENA. (2019). Innovation landscape brief: Utility-scale batteries. Abu Dabi, UAE. Obtenido de International Renewable Energy Agency.

36. Nhede, N. (2019). Blockchain in energy market to reach \$3 billion by 2025. Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Obtenido de Smart Energy International Sitio web: <https://www.smartenergyportal.ch/blockchain-in-energy-market-to-reach-3-billion-by-2025>



3. Tecnología Blockchain

La tecnología Blockchain está creando un nuevo terreno de juego para la innovación a través de múltiples industrias, ofreciendo casos de uso habilitados por tecnologías ya existentes, como lo son el internet, la criptografía, el poder computacional y computación en la nube. Representa una herramienta poderosa para la inminente llegada de una economía digital. Diversos sectores y organizaciones han comenzado a experimentar con dicha tecnología en respuesta a cambios en paradigmas que se están generando en interacciones sociales y económicas como consecuencia de un mundo cada vez más globalizado y digitalizado.³⁷ Una de las principales tendencias que ha surgido a raíz de estos cambios son los nuevos modelos de negocio orientados hacia la descentralización, haciendo de Blockchain una herramienta factible para impulsarlos.

3.1 Contexto General

La Tecnología de Registro Distribuido (DLT por sus siglas en inglés) es un término más robusto que hace referencia al almacenamiento y gobernanza de datos dentro un registro distribuido. Habilita el intercambio de valor (que puede ser representado a través información pública o privada) entre participantes de una red en un ambiente completamente digital. Blockchain es un subgrupo de DLTs, con sus propios aspectos tecnológicos en cuanto al almacenamiento de información y estructuras de integridad del registro. Este reporte empleará el término Blockchain de manera intercambiable con DLT al referirse a registros distribuidos en general, buscando mantener consistencia con la terminología popular.

El foco de atención de Blockchain está centrado en modelos de negocio tradicionales altamente centralizados y con una fuerte dependencia de algún tercero, procurando proveer un método de confianza alternativo a las transacciones que ocurren entre múltiples entidades. Al transformar los modelos de confianza actuales, Blockchain ofrece un nuevo mecanismo para validar la exactitud y veracidad de transacciones a través de un registro distribuido. Esta funcionalidad elimina los registros fuera de sincronía junto con la necesidad de conciliar transacciones, reduciendo riesgos derivados de información incompleta o fragmentada que puede resultar en múltiples versiones de la verdad.³⁸ En otras palabras, Blockchain ofrece a todos los participantes una “fuente única de la verdad”.

A pesar de que se la ha atribuido un gran potencial a Blockchain, aún se le considera como una tecnología en desarrollo. Se ha logrado un progreso sustancial en los últimos años, sin embargo, la mayor parte de las industrias todavía se encuentran en fases de experimentación a través de pruebas y pilotos, con el objetivo de poder

identificar casos de uso sobresalientes y demostrar aplicaciones exitosas de la tecnología. Múltiples beneficios cualitativos y cuantitativos han sido identificados en proyectos piloto, buscando transformar modelos de negocio centralizados que predominan en los ámbitos económicos, políticos y sociales del mundo actual. El sector energético no es la excepción, también ha empezado a explorar varios casos de uso basados en tecnología Blockchain.

3.2 Conceptualización de la Tecnología

Componentes Habilitadores de la Tecnología Blockchain

Un primer enfoque hacia el entendimiento de la tecnología Blockchain consiste en analizar las 3 ciencias que habilitan las principales funcionalidades de un registro distribuido: criptografía, teoría de juegos y la ingeniería de software.³⁹ A pesar de que cada una de estas ciencias ha sido estudiada a profundidad de manera independiente, la llegada de Blockchain logró armonizar ciertas características de cada una para lograr el desarrollo de esta herramienta.

- **Teoría de Juegos:** Permitió la creación de mecanismos que habilitan una red descentralizada confiable a través de incentivos a los participantes que muestren comportamientos correctos/veraces. Esto se logró al estudiar el Problema de los Generales Bizantinos, que describe una situación en dónde múltiples partes deben coordinarse y lograr un acuerdo ante una estrategia única para evitar el fracaso en un objetivo compartido, mientras se reconoce la existencia de participantes corruptos/poco fiables.
- **Criptografía:** Otorga seguridad, privacidad e inmutabilidad a transacciones realizadas dentro de una red distribuida a través de un proceso conocido

37. Vigna, P. & Casey, M. (2015). The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and the Blockchain are challenging the Global Economic Order. Estados Unidos de América: New York Times. Pg. 277

38. KPMG International (2018), Blockchain and the future of finance: A potential new world for CFOs – and how to prepare. Obtenido de KPMG International. Pp. 2.

39. Mougayar, W. (2016). The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology. Nueva Jersey, EUA. pp. 11.

como “hashing”, en el cual se genera un código cifrado que funge como una huella digital única dentro del registro compartido (ver sección 3.4). Esto le permite a los participantes verificar y validar la información en el registro sin la necesidad de exponer detalles de la transacción.

- **Ingeniería de Software:** Es el componente clave al combinar la teoría de juegos y la criptografía para crear una red distribuida de participantes conocidos como nodos, aumentando las capacidades de previas tecnologías Peer-to-Peer (P2P). La red es encargada de actualizar y mantener la información en el registro de forma remota a través de poder computacional utilizando un software conocido como el protocolo de Blockchain.

Entendimiento Básico de Funcionalidades Blockchain

En registros tradicionales, un tercero de confianza o alguna autoridad central es responsable de gestionar la información proveniente de múltiples fuentes para realizar cambios con respecto a su origen y destino. Este modelo ha sido utilizado para proveer confianza entre individuos y entidades al mantener control sobre de los flujos de

información y el acceso a la misma. Instituciones financieras han empleado este modelo para controlar transacciones monetarias, mientras que la industria energética lo usa al momento de monitorear la oferta y demanda de energía, dar trazabilidad a la generación y consumo de energía, llevar el registro de pagos, mantener información actualizada de ciertos activos y otras circunstancias que involucran interacción entre varios participantes.

Blockchain busca ofrecer un método alternativo para la obtención de registros confiables entre múltiples partes, sin la necesidad de contar con una tercera parte centralizada. Los componentes analizados previamente es lo que habilita un mecanismo de confianza dentro de una red distribuida, significando que cada participante posee una copia del registro.⁴⁰ Por lo tanto, se debe establecer un mecanismo de consenso por medio del cual los participantes puedan mantener un registro actualizado y sincronizado (ver sección 3.5), resultando en una versión única y compartida de la verdad que proveerá inmutabilidad y transparencia a la información. A continuación se muestra cómo se lleva a cabo una transacción peer-to-peer básica con un criptoactivo para lograr una mayor comprensión del funcionamiento de Blockchain:

Gráfico 3.1 - Entendimiento Básico de Blockchain



Alianza Energética, 2020

Introducción a la Tecnología Blockchain

Blockchain no es un sinónimo de Bitcoin, y no es un término limitado a las criptomonedas. Si bien es cierto que Bitcoin sentó las bases de la tecnología, únicamente debe ser visto como un caso de uso particular habilitado por esta tecnología. Blockchain es un registro distribuido con aplicaciones que van más allá de las criptomonedas, creando nuevos mecanismos de confianza para el registro

de información entre múltiples participantes; dicha información puede estar relacionada a transacciones, acuerdo, propiedad, o bien, otros eventos de relevancia que requieran de confianza entre las partes que están interactuando.

No obstante, el valor intrínseco de Blockchain no reside en la transferencia de información. Si comparamos la tecnología Blockchain con el internet, este último puede

40. Allende, M. (2008). Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social. Washington, DC. USA. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo. pp. 7

ser concebido como una herramienta que facilita la transferencia de información (texto, imágenes, videos, etc.) entre individuos, mientras que Blockchain actúa como una capa adicional del internet que permite asignarle valor a dicha información.

Por ende, esta tecnología funciona principalmente como un mecanismo de confianza, en donde aplicaciones iniciales giran alrededor de la transferencia de valor, representado por dinero (Criptomonedas como Bitcoin), propiedad intelectual, contratos, patentes, o incluso activos físicos que puedan ser intercambiados en el mundo digital. Es por esta razón que diversas industrias, incluido el sector energético, han identificado aplicaciones y nuevos modelos de negocio basados en Blockchain que tienen el potencial de transformar procesos actuales, resultando en un incremento de eficiencia, seguridad y transparencia.

3.3 Estado Actual

Los Inicios de Blockchain

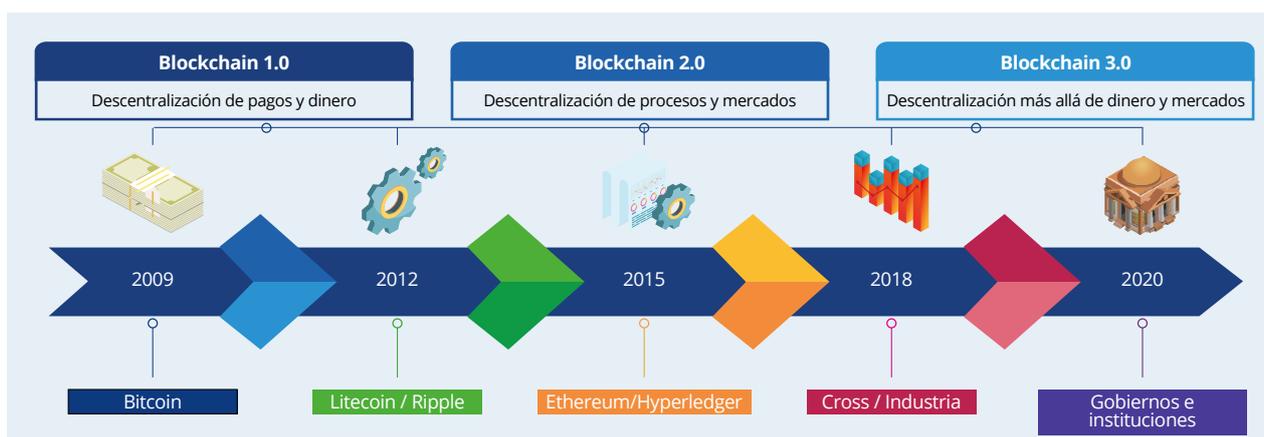
El nacimiento de Blockchain se puede remontar hacia los 90's, con la aparición de varios predecesores que han contribuido al desarrollo de la tecnología. Un grupo de criptógrafos conocidos como los cypherpunks entendieron el gran impacto y alta relevancia que el internet tendría en nuestro mundo, por lo que mostraron fuertes inquietudes respecto a la privacidad de datos, seguridad de la información y empoderamiento individual. Por este motivo, desarrollaron herramientas que permitirían interacciones pseudo-anónimas a través de privacidad criptográfica, persiguiendo un objetivo en común: privacidad de la información dentro de un mundo cada vez más digitalizado.

Evolución de Blockchain

Desde la llegada de Bitcoin en el 2008 la tecnología ha sufrido de una constante evolución, agregando capas y funcionales adicionales a lo largo de su desarrollo. Es de gran utilidad repasar los principales avances tecnológicos de Blockchain para entender el creciente interés mostrado por diversos sectores; Melanie Swan ha identificado tres etapas clave dentro de este proceso evolutivo:⁴¹

- **Blockchain 1.0:** Descentralización de pagos y dinero. Una forma de dinero digital (mejor conocida como las criptomonedas) representan la primera aplicación de esta tecnología, habilitando transacciones en línea entre individuos sin dependencia de una tercera parte que funja como intermediario. Algunos ejemplos son: remesas, pagos transfronterizos, transferencias de dinero P2P y sistemas de pagos digitales.
- **Blockchain 2.0:** Descentralización de mercados y procesos a través de contratos inteligentes. La funcionalidad añadida de poder programar códigos capaces de ejecutar transacciones de manera automatizada dentro de la red de Blockchain habilita aplicaciones de mayor complejidad. Usos sobresalientes incluyen Tokens, Ofertas de Moneda Inicial / Inicial Coin Offerings, préstamos, bonos, instrumentos financieros y automatización de ciertos procesos.
- **Blockchain 3.0:** Descentralización más allá del dinero, las finanzas y los mercados. Un claro entendimiento de las características subyacentes de Blockchain ha resultado en el surgimiento de nuevos modelos de negocio basados en registros distribuidos, como lo es el caso de redes distribuidas privadas y permissionadas. La tecnología sigue ganando interés entre diversas industrias al ser una herramienta capaz de reconfigurar modelos de negocio tradicionales. Sectores que sobresalen en actividades exploratorias de Blockchain son el bancario y financiero, asegurador, gobierno, logística, salud y energía.⁴²

Gráfico 3.2 - Evolución de Blockchain



Alianza Energética, 2020

41. Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a New Economy. Estados Unidos de América: O'Reilly Media Inc.; Prefacio.
42. Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a New Economy. Estados Unidos de América: O'Reilly Media Inc.; Prefacio.

Paradigmas importantes: Bitcoin y Ethereum

Es imposible entender el estado actual de Blockchain, junto con la creciente popularidad de la tecnología que desencadenó gran interés y revuelo en el mundo, sin abordar primero dos de los protocolos más destacados en la actualidad: Bitcoin y Ethereum. Dichas plataformas no deben ser percibidas como sinónimos de Blockchain, sino más bien como herramientas poderosas para casos de uso específicos.

- **Bitcoin:** Considerada por muchos como el origen de Blockchain, causó un gran furor a nivel global que incluso eclipsó el máximo potencial de la tecnología. Esfuerzos previos por crear dinero digital representaron los cimientos para el desarrollo del documento técnico titulado “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, publicado en el 2008 por Satoshi Nakamoto, un autor anónimo cuya identidad permanece desconocida.

Una serie de innovaciones criptográficas y tecnológicas constituyen los 4 principios fundamentales que hicieron de Bitcoin proyecto exitoso de dinero digital en el mercado.⁴³ En primer lugar, permite realizar transacciones de manera directa entre individuos P2P. Segundo, no depende de un tercero (i.e. instituciones financieras) para llevar el registro de las transacciones. Tercero, la criptografía habilita un mecanismo de consenso para la autorización y validación de transacciones entre participantes de la red, sin requerir de un sistema centralizado que provea confianza entre los individuos. En último lugar, la confianza es depositada en la red, que está descentralizada y distribuida a través de todos los participantes.

Bitcoin aún se mantiene como la criptomoneda predominante en el mercado, representando un 64.75% de capitalización del mercado de todas las criptomonedas circulantes⁴⁴. Se identificaron tres factores clave detrás del éxito de Bitcoin que no se lograron en proyectos previos:

- **Mezclar los Ingredientes Correctos:** El conocimiento desarrollado en proyectos predecesores, junto con el innovador mecanismo de consenso “Proof-of-Work” que logró resolver el problema de doble gasto, otorgó credibilidad a Bitcoin como un método alternativo y fiable para realizar transacciones.
- **Desarrollos Tecnológicos:** Avances significativos en términos de poder computacional permitieron desarrollar las capacidades requeridas para que una red de nodos distribuidos pueda funcionar. Adicionalmente, el uso convencional de dispositivos

móviles (laptops, tablets y smartphones) le han permitido a usuarios interactuar dentro de una economía digital con menos fricción.

- **Contexto Social y Cultural:** La creciente actividad en internet ha intensificado los efectos de red en modelos de negocio digitales, involucrando aún más a individuos en el mundo digital. Este fenómeno ha creado conciencia sobre retos en materia de privacidad de la información y seguridad cibernética. Por otra parte, la crisis financiera del 2008 amenazó el sistema financiero tradicional, reduciendo la confianza por parte del mercado y fortaleciendo sistemas alternativos como lo es el caso de las criptomonedas.

- **Ethereum:** Este innovador protocolo de Blockchain reforzó la tecnología al introducir el uso de contratos inteligentes, que posibilitaron a creación de Tokens y Aplicaciones Descentralizadas (DApps por su abreviatura en inglés) a través de su propio lenguaje de programación quasi-Turing-completo. Esta nueva funcionalidad revolucionó el potencial de Blockchain al desbloquear aplicaciones que van más allá del registro de información y transacciones, permitiendo que la tecnología evolucionara hacia casos de uso que previamente eran inconcebibles.

Los servicios descentralizados desarrollados sobre este protocolo son accionados por un Token propio de Ethereum: el Ether (ETH). Éste funge como un método de pago dentro de la red para fines de procesamiento de transacciones. En otras palabras, es la criptomoneda subyacente utilizada para mantener la red en funcionamiento. Cuando un usuario interactúa con el Blockchain de Ethereum se debe pagar una cuota, la cual es calculada en “gas”, una unidad de medida utilizada para cuantificar el esfuerzo computacional empleado para ejecutar una operación dentro de la red de Ethereum; el gas calculado siempre es pagado en ETH.

La integración de códigos binarios de programación dentro de Blockchain permite que aplicaciones basadas en Ethereum sean capaces de gestionar y ejecutar transacciones de manera autónoma, basándose en una serie de condiciones predefinidas que debe ser cumplidas. Asimismo, posibilita a usuarios la creación de Tokens propios para múltiples propósitos, tales como mecanismos para recaudar fondos a través de ICO’s (más información en la sección 3.4). Este tipo de funcionalidades son las que hace de Ethereum una fase clave en el desarrollo tecnológico de Blockchain, impulsando el revuelo y las expectativas de esta tecnología aún más.

43. Nakamoto, S. (2008), Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System;

44. Information obtained from coinmarketcap.com on June 29, 2020.



Tanto Bitcoin como Ethereum representan hitos importantes para Blockchain debido a sus innovaciones tecnológicas. Vale la pena mencionar que ambos protocolos también cuentan con algunas deficiencias en temas de escalabilidad, requerimientos de consumo energético y alta volatilidad en sus criptoactivos subyacentes, lo cual puede representar una barrera de adopción para ciertos casos de negocio. Estas cuestiones también han contribuido al desarrollo y adopción de arquitecturas de DLT alternativas que han sido diseñadas para adecuarse a ciertos escenarios y necesidades específicas, variando según el caso de uso que se está evaluando.

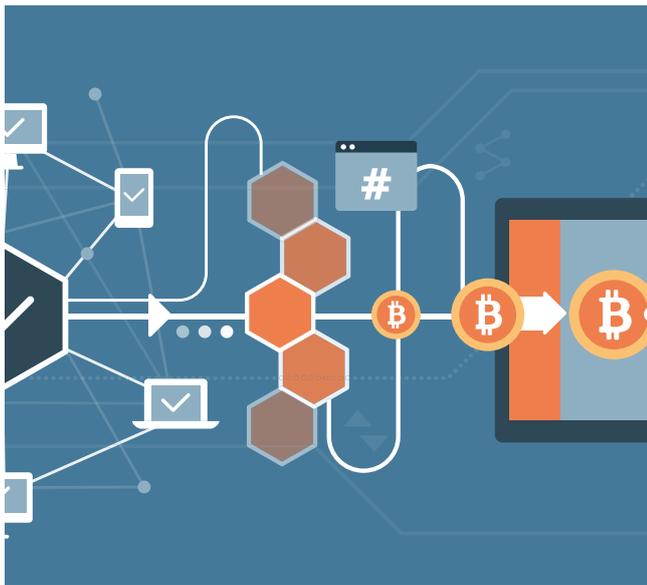
La promesa de disrupción en industrias con altos niveles de centralización y una fuerte dependencia de terceros ya es visible en ciertos sectores, como lo son el financiero y público. El Sector Energético es otro caso en donde Blockchain está siendo explorado como una herramienta potencial en la transición hacia nuevos modelos de negocio. Como se menciona en la sección El futuro del Sector Energético Mexicano, las principales tendencias de industria actualmente son la descarbonización, descentralización y digitalización (las 3D's); por lo tanto, Bitcoin y Ethereum sirven como ejemplos claros de por qué Blockchain es una herramienta relevante que considerar en al menos 2 de las 3 tendencias.

Panorama Actual de la Tecnología Blockchain

La aceptación de mercado de Bitcoin, junto con el surgimiento de contratos inteligentes, ha generado un hype tecnológico que alcanzó su punto máximo a finales del 2017 e inicios del 2018. Se han identificado aplicaciones potenciales a través de múltiples industrias, y se pusieron altas expectativas en soluciones innovadoras para registrar cualquier evento considerado de importancia para la humanidad, incluyendo: títulos de propiedad, patentes, certificados de nacimiento/muerte, votos electorales y registros médicos⁴⁵. Sin embargo, después del crack de criptomonedas a principios del 2018, acompañado por el descubrimiento de varios fraudes de ICO's y promesas no cumplidas de ciertos proyectos, se alcanzó una fase de desilusión que calmó expectativas del mercado. Por ello, Blockchain ya no se percibe como un remedio universal por parte de todas las industrias, sino más bien como una herramienta tecnológica que puede ser aprovechada bajo ciertas circunstancias para solucionar problemas específicos.

Las principales tendencias y aplicaciones hoy en día giran en torno a la transparencia, trazabilidad y seguridad de la información. Distintos campos adoptaron Blockchain a lo largo del 2019 como una solución innovadora para mejorar modelos de negocio y servicios existentes.

45. Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016). Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin is Changing Money. Estados Unidos de América: Portfolio. pp 7.



Por ejemplo, las implementaciones más avanzadas se encuentran dentro de la banca, aseguradoras, cadenas de suministro e identidades digitales. No obstante, otros sectores como salud, energía, gobierno, medios de comunicación y educación continúan a explorar soluciones que involucran el uso de monedas digitales/tokens, contratos inteligentes y otros DLT's en un esfuerzo por optimizar la eficiencia de procesos y la experiencia del cliente.

Ben Hertz-Shargel mencionó durante una entrevista que es escéptico del uso de Blockchain como una plataforma integral para transacciones y lógica de negocios, particularmente cuando temas de desempeño, escalabilidad, y privacidad son inquietudes clave. Sin embargo, reconoce el valor de Blockchain en un rol fiduciario más limitado, permitiendo la confianza entre múltiples partidos en una plataforma de transacciones, cuando no hay un intermediario que pueda proveer dicha confianza.⁴⁶

El sector financiero es un claro ejemplo de una industria que ha sido desafiada por un sistema centralizado tradicional, forzando la adopción de su infraestructura hacia la digitalización, incluyendo soluciones basadas en Blockchain. Las criptomonedas se mantienen como el tema central dentro de este campo, debido a sus características descentralizadas que han desbloqueado nuevos modelos de negocio. La industria energética está atravesando una transición similar, pasando de un sistema altamente centralizado a uno con modelos distribuidos de mayor complejidad que requieren de digitalización y descentralización del mercado para prosperar.

También se ha visto un creciente interés en el sector público. Los Bancos Centrales han centrado su atención en criptoactivos de baja volatilidad conocidos como "stablecoins" (monedas estables), desarrollando investigación

conceptual y teórica en las CBDC's (Monedas Digitales del Banco Central por sus siglas en inglés), con proyectos pilotos desplegados en países como China, Suecia y Uruguay.⁴⁷ El involucramiento de organismos gubernamentales es clave para que las soluciones Blockchain puedan ganar tracción, al buscar herramientas para impulsar la transparencia, inclusión y desarrollo de modelos de negocio innovadores. Áreas en donde gobiernos han mostrado interés particular incluyen: salud, energía, identidad digital y comunicaciones.

El uso de contratos inteligentes es otro punto focal de la tecnología Blockchain. La industria aseguradora ha realizado esfuerzos significativos por aprovechar esta funcionalidad para el desarrollo de nuevos modelos de negocio basados en soluciones digitales. Un ejemplo son los reclamos automatizados, utilizando contratos inteligentes e IA para incrementar la eficiencia y mejorar la experiencia del cliente a lo largo de los procesos de notificación, validación, investigación, resolución, liquidación y cierre. Reglas de auto-ejecución similares pueden ser programadas en procesos dentro de la cadena de valor del sector energético a fin de eliminar interacciones innecesarias con terceros, incrementar eficiencia y mitigar riesgos.

La mayor parte de los casos de uso relacionados a la industria energética siguen bajo fases de experimentación y pruebas, no obstante ya hay aplicaciones con avances importantes en el mercado. Soluciones líderes en la industria están relacionadas a certificados de origen y atributos de energía, impulsadas por características de transparencia y trazabilidad que ofrece Blockchain. Algunos ejemplos incluyen certificados para la producción de energía renovable, metas de eficiencia energética, emisiones de carbono y consumo de energía limpia. Otras soluciones que han mostrado un alto potencial es la comercialización peer-to-peer de energía en mercados minoristas y mayoristas, gestión de datos y activos para un monitoreo en tiempo real de la red, tokenización respaldada por activos, financiación de proyectos, pagos, facturación y liquidación. Información adicional referente a modelos de negocio Blockchain dentro del sector energético está disponible en el capítulo 4: *Tecnología Blockchain en el sector energético*.

Panorama Actual de Plataformas Blockchain

Ya es posible encontrar aplicaciones Blockchain a lo largo de varias industrias, en donde las diversas aplicaciones pueden ser traducidas en distintas plataformas, dependiendo del objetivo general y las funcionalidades que cada protocolo ofrece para alcanzar metas específicas. La siguiente tabla muestra plataformas relevantes a considerar para casos de uso relacionados al sector energético:

46. Hertz-Shargel, B. & Livingston, D. (2019). Assessing Blockchains Future in Transactive Energy. Washington D.C., EUA Obtenido de Atlantic Council, Global Energy Center.; pp 44.

47. Barontini, C., Holden, H. (2019). Proceeding with caution – a survey on central bank digital currency. Basilea, Suiza. Obtenido de Banco de Pagos Internacionales Sitio web: <https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap101.pdf>

Tabla 3.1 - Plataformas Blockchain

Plataforma	Objetivo	Características	Usos comunes	Caso de uso en el sector energético
Bitcoin	Descentralización de pagos a través de una versión electrónica de dinero que facilita transacciones peer-to-peer.	<ul style="list-style-type: none"> • Público • Criptomoneda: Bitcoin • Pseudo-anónimo 	<ul style="list-style-type: none"> • Transacciones Peer-to- Peer • Reserva de valor • Inversiones especulativas 	Recompensas tokenizadas que prosumidores de energía pueden intercambiar por Bitcoins y otras criptomonedas populares
Ethereum	La primera plataforma para contratos inteligentes de uso general, ofreciendo capacidades para construir aplicaciones descentralizadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Público • Token: Ether (ETH) • Programable 	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de Tokens • DAO's / Dapps • Recaudación de fondos / ventas de capital • Mercados descentralizados • Wallets de criptoactivos 	Aplicaciones basadas en Ethereum aprovechan la tecnología Blockchain y dispositivos IoT para ofrecer a usuarios la posibilidad de comprar energía directamente de la red.
Hyperledger Fabric	Un Blockchain privado habilitado como una plataforma para contratos inteligentes de uso general en la cual se pueden desarrollar soluciones bajo una arquitectura modular.	<ul style="list-style-type: none"> • Privado / consorcio • Membresía permissionada • Protección de llaves digitales y datos sensibles • Programable 	<ul style="list-style-type: none"> • Cadenas de suministro • Transferencias interbancarias • Registros médicos • Emisión de acciones 	IBM creó la primera plataforma basada en Blockchain para la gestión de activos ecológicos a través de Hyperledger Fabric, a fin de apoyar el desarrollo de activos de carbono de manera más eficiente.
Corda	Una plataforma tipo Blockchain privado de código abierto desarrollada por R3 que habilita a negocios a participar en transacciones directas a través de contratos inteligentes y un modelo de privacidad que otorga seguridad de la información.	<ul style="list-style-type: none"> • Permissionada • Contratos inteligentes • CorDapps • Segura y privada • Altamente escalable 	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumento financiero • Negociación de derivados • Activos digitales • Identidad digital • Comercio global / cadenas de suministro • Aseguradoras y sector salud 	Corda ha implementado Blockchain en el comercio de energía al digitalizar productos básicos con la finalidad de reducir ineficiencias en ciertos procesos, tales como un bajo grado de confianza y prácticas manuales de documentación.
Stellar	Una red descentralizada y de código abierto para divisas y medios de pago que habilita microtransacciones, pagos transfronterizos y remesas.	<ul style="list-style-type: none"> • Público • Inmutable • Altamente escalable • Activos digitales • Criptomoneda: Lumen 	<ul style="list-style-type: none"> • Remesas • Pagos transfronterizos • Creación de activos digitales 	Proyectos en el sector energético basados en Stellar aprovechan la tecnología Blockchain como una plataforma de recaudación de fondos para proyectos de energía solar, un mercado descentralizado para la compra/venta de energía y para crear créditos de carbono en forma de tokens.
IOTA	Es un registro distribuido de código abierto desarrollado para el ecosistema del Internet de las Cosas (IoT), habilitando microtransacciones e integridad de datos para aplicaciones de máquina-a-máquina (M2M).	<ul style="list-style-type: none"> • Públic / permissionado • Sin tarifas/quotas • Altamente escalable • Bajo consumo energético por parte de la red • Toke IOTA como un activo digital opcional • Marco de identidad digital 	<ul style="list-style-type: none"> • Automotriz / movilidad • Comercio internacional / cadenas de suministro • Salud • Energía inteligente • Ciudades inteligentes • IoT en aplicaciones industriales 	El ecosistema de socios de IOTA está desarrollando una serie de casos de uso, incluyendo el monitoreo en tiempo real de datos de medidores inteligentes, trazabilidad de atributos energéticos, micropagos M2M para activos de energía inteligentes, sistemas de carga inteligente y flexibilidad P2P de mercados de energía.

Plataforma	Objetivo	Características	Usos Comunes	Caso de uso en el sector energético
Energy Web Chain	EWf estableció uno de los ecosistemas Blockchain de energía más grandes a nivel global y lanzó Energy Web Chain, un Blockchain público diseñado para desarrollar aplicaciones de grado empresarial para el sector energético.	<ul style="list-style-type: none"> Blockchain público permisionado Desarrollo del ecosistema Alta capacidad de rendimiento Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> Conexión con dispositivos IoT Rastreo de atributos verdes Carga de vehículos eléctricos Flexibilidad y balanceo de la red Autenticación de datos y activos 	Los SDK's de EW (EW Origin y EW Flex) pueden ser utilizado para desarrollar dApps para dar trazabilidad de energía (e.g. certificados energía renovable) y para integrar DERs a la red.

Alianza Energética, 2020

3.4 Definición de Principios Generales

Fundamentos Blockchain

El surgimiento del término Blockchain se deriva de la estructura del registro distribuido, que consiste en un conjunto de transacciones organizadas y almacenadas dentro de bloques de información. Los bloques son ordenados de manera cronológica, cada bloque es encriptado y un código "hash" se le es asignado; posteriormente es firmado digitalmente por el nodo participante a cargo de validar el bloque. Nuevas transacciones pendientes de ser registradas son empaquetadas en un nuevo "bloque" y una vez validado se convierte en el último eslabón en la "cadena" de bloques formada por transacciones históricas previas⁴⁸. A medida que nuevos bloques son agregados, la cadena continúa creciendo, conformando el

registro distribuido que es propiedad de todos los participantes de la red. Es así como se acuñó el término "cadena de bloques", o "Blockchain" por su traducción en inglés.

Conceptos Clave

El ecosistema de Blockchain se ha desarrollado a un ritmo acelerado en los últimos años, y han surgido nuevos jugadores y conceptos clave que son esenciales para comprender como funciona esta tecnología en su totalidad, y como puede ser implementada dentro de la industria energética.

Tabla 3.2 - Conceptos Clave de Blockchain

Clase	Concepto Clave	Descripción
Principales componentes dentro de una transacción Blockchain	Hash	Un código de longitud predeterminedada obtenido a través técnicas criptográficas para transformar información privada. Funge como un mecanismo para verificar que la información cifrada dentro de un bloque no haya sufrido de alteraciones sin tener que revisarla.
	Address (Dirección)	Una secuencia aleatoria de números y letras utilizada para enviar y recibir información dentro de Blockchain, comparable con una cuenta bancaria, dirección de correo electrónico o dirección domiciliaria al momento de interactuar con otro individuo por medio de algún intermediario.
	Llaves criptográficas públicas y privadas	Método de cifrado que utiliza dos llaves relacionadas matemáticamente: una llave pública para cifrar la información y una privada para descifrarla. La última es ligada de manera única a su usuario y es utilizada para acceder a su información; es imposible obtener la llave privada basándose en la pública.
	Firma digital	Usada para verificar la autenticidad de información registrada en el Blockchain al validar matemáticamente la propiedad ciertos datos en el registro distribuido.

48. Allende, M. (2008). Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social. Washington, DC, USA. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo. pp. 6.

Clase	Concepto Clave	Descripción
Mecanismos habilitadores dentro de una red Blockchain	Nodos	Participantes de la red distribuida que operan y tienen acceso a una copia del registro. Pueden participar en múltiples actividades: emitir, verificar, autorizar, informar, etc.
	Minería	Hace referencia a la cantidad de trabajo requerido para validar y autorizar transacciones en términos de tiempo, recursos y poder computacional invertido para resolver un complejo algoritmo matemático. No todos los Blockchains cuentan con actividades de minería para lograr el consenso de la red.
	Mineros	Aquellos participantes que desempeñan actividades de minería al competir con otros nodos para ser los primeros en resolver un algoritmo, creando bloques cifrados que contienen la información más reciente a cambio de incentivos/recompensas.
	Mecanismo de consenso	Un método mediante el cual nodos independientes verifican y validan información sin la necesidad de depender en un tercero de confianza o alguna autoridad centralizada.
	Contratos inteligentes	Son protocolos autoejecutables que actúan dentro de un Blockchain cuando se cumplen con las condiciones predeterminadas para detonar un evento.
Elementos clave dentro de un ecosistema Blockchain	Fork (Bifurcación)	Representa un cambio significativo en las reglas del protocolo, o bien, alteraciones a los datos capturados en el registro distribuido.
	DAO's	Organizaciones dirigidas por participantes de una red distribuida, diseñadas para funcionar de una manera autónoma y descentralizada a través de reglas programadas en contratos inteligentes.
	Wallets (carteras)	Herramientas tecnológicas usadas para almacenar activos digitales. Existen dos tipos: Las wallets "calientes" están conectadas a internet para poder acceder a los fondos, mientras que las wallets "frías" son dispositivos físicos sin conexión a internet que deben ser conectados a una computadora para extraer la información.
	Exchange (bolsas)	Fungen como un punto central en donde usuarios pueden comprar, vender e intercambiar una amplia variedad de criptoactivos.
	Métodos de pago	Jugadores externos del ecosistema Blockchain que ofrecen herramientas y servicios para habilitar y facilitar el uso de criptoactivos como método de pago alternativo.

Alianza Energética, 2020

Criptomonedas, Tokens & ICO's

Procesos de transformación digital están impactando a prácticamente todas las industrias en el mundo, como consecuencia las criptomonedas y los tokens se han vuelto activos más relevantes y comunes cada día⁴⁹. Algunos usos destacados de sus usos son métodos de pagos alternativos, representación de activos físicos en el mundo digital y herramientas para financiar proyectos.

Las criptomonedas son un activo digital utilizado como medio de intercambio, su principal objetivo es sustituir

otras monedas funcionales o para fungir como una reserva de valor. Los Tokens, por otro lado, son desarrollados por una organización para representar una unidad de valor con la finalidad de crear un mecanismo de autogobierno dentro de un modelo de negocio, empoderando a los usuarios a interactuar con sus productos o servicios. Hay una gran diversidad de criptoactivos en el mercado, variando según el uso, objetivos y funcionalidades que quiere alcanzar.

Actualmente no hay un marco estandarizado para su categorización, sin embargo, la tabla 3.3 muestra 7 tipos generales identificados:

Tabla 3.3 - Categorías de Tokens

Tipo de Token	Descripción del Token
Token nativo / criptomoneda	Utilizados como medio de pago dentro de una red, plataforma o para un servicio en particular
Stablecoin / Token respaldado por activos	Ofrece estabilidad de precio, su valor está vinculado a una moneda fiduciaria o respaldado por un activo de reserva

49. Vigna, P. & Casey, M. (2015). The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and the Blockchain are challenging the Global Economic Order. Estados Unidos de América: New York Times. Pp. 39

Tipo de Token	Descripción del Token
Token de utilidad / aplicación	Diseñado para acceder a una red específica de Blockchain en la cual se deberán pagar cuotas de transacción
Token de valores / distribución de ingresos	Tenedores del token tienen derecho a una porción de las cuotas o ganancias generadas por una red en particular
Token de infraestructura	Permite que tenedores del Token tomen un rol activo en el mantenimiento de la red a cambio de un incentivo
Token para la creación de bloques	Fungen para determinar a los nodos autorizados que pueden participar en la creación y validación de bloques
Token de gobernanza	Otorga a tenedores poder para influenciar en la dirección de una plataforma o protocolo a través de derechos de votación

Alianza Energética, 2020

Hay dos tipos de Tokens que sobresalen para el sector energético. El primer caso son los Tokens de utilidad/aplicación, usados para dar a los usuarios derechos de acceso a ciertos productos o servicios; modelos de negocio identificados incluyen el acceso a mercados como energías renovables, comercio de carbono, comercio de energía bajo modelos peer-to-peer y sistemas de pagos/recompensas alternativas. En segundo lugar, se encuentran los Tokens de distribución de ingresos, permitiendo a usuarios anticipar futuros ingresos a través del token; este mecanismo ofrece modelos de financiamiento alternativos en forma de capital o deuda.

La alta volatilidad, incertidumbre de precios y actividades especulativas han sido factores que han desalentado a jugadores relevantes del mercado a participar en modelos de negocios basados en criptoactivos. Por este motivo, la creación de activos digitales de baja volatilidad, conocidos como las stablecoins, han ampliado las posibilidades de usos adicionales con potencial de adopción masiva. Casos sobresalientes son las (CBDC's), criptomonedas vinculadas a una moneda fiduciaria (e.g.

Tether) y activos respaldados por tokens (oro, bienes raíces, acciones, etc.). El último ejemplo es de gran relevancia para el sector energético debido a su correlación con el valor de activos en el mundo real, como petróleo, gas, kWh de generación de energía, consumo de energía limpia y bonos/certificados verdes.

A pesar de que las criptomonedas son un componente esencial para comprender el estado actual de Blockchain, ICO representaron un punto máximo de revuelo de la tecnología durante el 2017. Los ICO's son un mecanismo de financiamiento alternativo a métodos tradicionales como las Ofertas Públicas Iniciales (IPO's) y fondos de capital de riesgo, ofreciendo una forma más accesible de levantar fondos para el desarrollo de proyectos y nuevas iniciativas. Tanto organizaciones como inversionistas pueden beneficiarse de este tipo de mecanismos debido a menores barreras de entrada, menores costos de financiamiento, democratización de las inversiones y un incremento en eficiencia. Se pueden identificar los siguientes tres amplios tipos de ICO:

Tabla 3.4 - Tipos de ICO

Tipo de ICO	Descripción del ICO
ICO de utilidad	Empleado para el lanzamiento de un nuevo criptoactivo que cuenta con una serie de características únicas dentro de un ecosistema distribuido propuesto. El token creado le permite a inversionistas utilizar o interactuar con la nueva plataforma.
ICO de capital	Sirve como un mecanismo de fondeo colectivo para un nuevo proyecto a través de la venta de tokens de capital a inversionistas, que posteriormente pueden ser comercializados en mercados secundarios.
ICO de deuda	Emisión de bonos o préstamos sindicados tokenizados en una red Blockchain. Es posible automatizar la originación, distribución, asignación, ejecución, confirmación y pagos de intereses de un contrato a través de contratos inteligentes.

Alianza Energética, 2020

Los tokens emitidos representan los cimientos de un futuro ecosistema de Blockchain propuesto, y son empleados como unidad de valor para futuras transacciones. La industria energética ha identificado oportunidades que aprovechan este tipo de mecanismos de financiamiento para infraestructura de energía renovable, inversiones comparadas en el caso de suministro externo de dueño a inquilino⁵⁰ y plataformas de fondeo colectivo para financiar proyectos de energía renovable a través de la tokenización⁵¹.

Sin embargo, los ICO's han generado escepticismo y duda hacia la tecnología Blockchain debido a fraudes, incertidumbre regulatoria y restricciones legales.

Consumidores que participan en ICO's están expuestos a riesgos significativos, algunos ejemplos son: falta de transparencia en cuanto a cómo se utilizan los fondos recaudados, iniciativas de fondeo lanzadas por compañías inexistentes, proyectos que no logran recaudar su meta de financiación y fraudes relacionados a proyectos falsos. Como resultado, los usuarios se han vuelto escépticos de los ICO y rara vez los acepta a causa de preocupaciones en términos de transparencia y sus mecanismos de financiamiento no vinculantes.

Por consiguiente, han surgido nuevas tendencias en mecanismos de fondeo basados en Blockchain. Un ejemplo son las Ofertas de Tokens de Valor (STO's por sus siglas en inglés), que pretenden combinar las mejores cualidades de los IPO's y los ICO's. Ofrecen un mecanismo de fondeo transparente y eficiente a través de la distribución de dividendos, adicionalmente están sujetos a regulaciones existentes, requieren de auditorías externas y promueven la colaboración con autoridades financieras. Otro caso son las Ofertas de Exchange Iniciales (IEO's por sus siglas en inglés), un tipo de ICO de segunda generación. Este mecanismo restringe la captación de fondos a usuarios de ciertos exchanges, en donde los proyectos participantes son evaluados y aprobados de acuerdo con ciertos criterios, brindando mayor certidumbre y transparencia a los

consumidores. Finalmente están los DAICO's, que buscan fusionar los principales beneficios de las DAO's y los ICO's a través de contratos DAICO publicados por un equipo de desarrolladores que busca levantar fondos. Por este medio usuarios pueden contribuir ETH a un contrato de acuerdo a una serie de reglas pre-establecidas otorgándoles poder de voto en ciertas resoluciones, tales como la definición de presupuestos periódicos liberados según los avances del proyecto o la cancelación del DAICO para obtener un reembolso proporcional del dinero restante.

A pesar de los múltiples usos y beneficios que pueden llegar a ofrecer los criptoactivos, hay varios factores y retos para tener en cuenta antes de desarrollar modelos de negocio que giran en torno a ellos. Consideraciones estratégicas deben ser definidas claramente, alineadas las prioridades organizacionales y de negocio. De este modo se podrán garantizar modelos de negocio y operativo válidos dentro de un ecosistema viable y una gobernanza estructurada, mientras que se confirma la viabilidad tecnológica de la solución propuesta. Adicionalmente, el contexto local en términos legales, aspectos fiscales, incertidumbre regulatoria y componentes contables también representan desafíos importantes al momento de diseñar una estrategia basada en criptoactivos.

Contratos Inteligentes

Los contratos inteligentes son protocolos autoejecutables que están encriptados dentro de transacciones, aprovechando la seguridad, inmutabilidad y transparencia de Blockchain. Reaccionan a un conjunto de condiciones o eventos predeterminados que están definidos en código, permitiendo automatizar procesos sin requerir de la intervención de las partes involucradas. Es la naturaleza distribuida de un ecosistema Blockchain lo que permite el procesamiento automatizado para gestionar transacciones de una manera segura e inmutable. Los contratos inteligentes pueden ser utilizados en múltiples escenarios al cumplir con tres pasos clave:

Gráfico 3.3 - Entendimiento Básico de los Contratos Inteligentes



Alianza Energética, 2020

50. Richard, P., Mamel, S. & Vogel, L. (2019). Blockchain in the integrated energy transition. Berlín, Alemania. Obtenido de Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) Sitio web: https://effizienzgebaeude.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_EN2.pdf p. 84.

51. Peter, V., Paredes, J., Rosado, M., Soto, E. & Hermosilla, D. (2019). Blockchain meets Energy. Ciudad de México, México. Obtenido de German-Mexican Energy Partnership (EP) and Florence School of Regulation (FSR) Sitio web: https://fsr.eui.eu/wp-content/uploads/Blockchain_meets_Energy_-_ENG.pdf p. 45.

El principal beneficio de esta funcionalidad es la mitigación de riesgos causados por retrasos y alta dependencia de un tercero en procesos manuales. No obstante, también cuentan con ciertas limitaciones; por ejemplo, son altamente inflexibles ya que no pueden adaptarse fácilmente a un cambio en circunstancias o preferencias de las partes involucradas. Por ende, su uso deberá estar limitado a relaciones consensuales en acuerdos con una baja probabilidad de disputa.

Asimismo, las condiciones y eventos definidos deben ser predecibles y establecidos claramente. El código dentro del contrato es demasiado rígido para realizar cambios ante circunstancias imprevistas que requiera hacer ajustes⁵². Si los contratos inteligentes se entienden como código, es razonable suponer que la codificación contempla fallas que deben ser mejoradas de forma iterativa; desafortunadamente la inmutabilidad de Blockchain hace que las modificaciones contractuales sean una tarea difícil. Esto a su vez plantea problemas con respecto al enfoque de “una vez definido, siempre válido” de los contratos inteligentes.

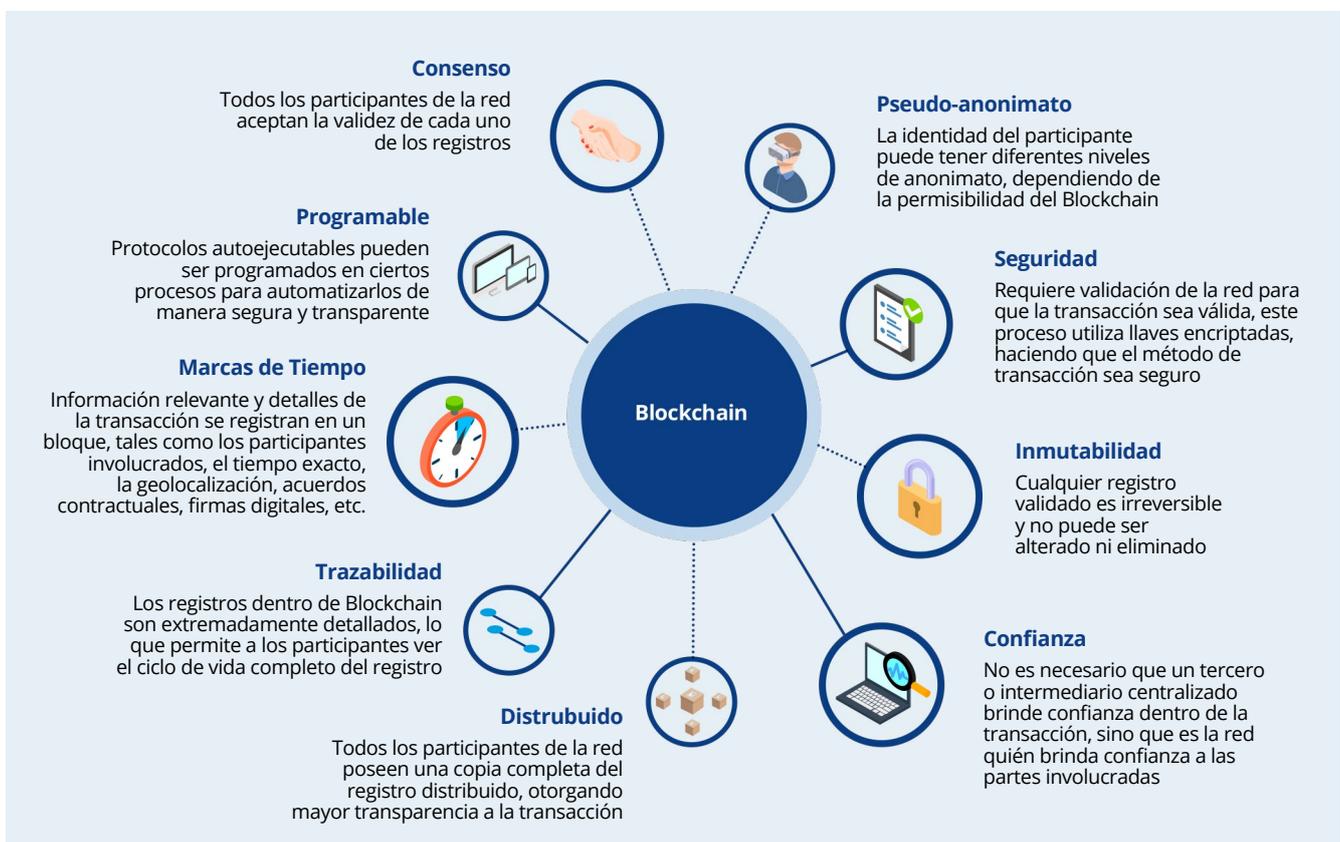
Un claro ejemplo de aplicaciones que utilizan contratos inteligentes es a través del (IoT).⁵³ Dispositivos conecta-

dos al internet generan datos valiosos de manera continua, convirtiéndolos en una excelente fuente de información que podrá ser registrada dentro de Blockchain para identificar ciertas condiciones predefinidas a fin de poder detonar eventos a través de un contrato inteligente. Se pueden encontrar usos potenciales mediante el uso de medidores inteligentes, que pueden ser programados para activar o cortar el suministro de energía por medio de modelos de negocio de prepago, otorgar créditos o certificados a generadores de energía de fuentes renovables, o incluso para habilitar una microred que permita el comercio de energía peer-to-peer entre prosumidores.

Principales Beneficios y Ventajas de la Tecnología Blockchain

Características clave de Blockchain mostradas en el gráfico 3.4 han provocado interés entre líderes de industria al ofrecer la posibilidad de realizar transacciones seguras y eficientes mientras se optimizan y automatizan procesos y se reducen costos operativos. Es por este motivo que se ha convertido en una tecnología disruptiva clave a considerar al momento de diseñar estrategias de transformación digital.

Gráfico 3.4 - Características clave de Blockchain



Alianza Energética, 2020

52. Boucher, P. (2017). How blockchain technology could change our lives; Bruselas, Bélgica. Obtenido de Servicios de Estudios del Parlamento Europeo: Scientific Foresight Unit (STOA). Sitio Web: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2017/581948/EPRS_IDA\(2017\)581948_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2017/581948/EPRS_IDA(2017)581948_EN.pdf) pp 17.

53. Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016). Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin is Changing Money. Estados Unidos de América: Portfolio; pp 102.

Algunos beneficios identificados incluyen: mayor eficiencia, reducción de costos, automatización de procesos, alta seguridad, eliminación de un punto único de falla y disminución de errores en el mantenimiento de registros. No obstante, las ventajas más relevantes de Blockchain yacen detrás de su capacidad de impulsar transparencia y confianza. Beneficios directos e indirectos adicionales identificados por William Mougayar son analizados desde una perspectiva del sector energético:⁵⁴

- Privacidad mejorada, protegiendo información confidencial originada por consumidores, organizaciones y dispositivos conectados al sistema a través de mecanismos de permisibilidad.
- Menor riesgo, reducción de pérdidas y ahorro en costos en procesos actuales debido a una mayor trazabilidad y monitoreo de datos, menos manipulación de datos, disminución en errores humanos y cohesión de información.
- Transparencia de eventos y acceso a información fidedigna por parte de participantes que cuentan con los permisos requeridos, dejando un rastro audita-

ble para cumplir con requerimientos normativos a través de una “fuente única de la verdad”.

- Mayor productividad y eficiencia como resultado de la automatización y digitalización de procesos manuales que pueden ser programados dentro de Blockchain.
- Optimización de utilidades en términos de un aumento en ingresos y crecimiento del negocio a raíz de una mejor experiencia del cliente, acceso a nuevos mercados, apertura de canales digitales avanzados y habilitación de nuevos modelos de negocio.

Principales Retos y Obstáculos de Blockchain

Es de suma importancia enfatizar retos críticos a los que la tecnología se enfrenta actualmente a fin de poder alcanzar su máximo potencial. Puntos clave incluyen limitaciones tecnológicas actuales, preocupaciones legales, incertidumbre regulatoria, transformación de negocio y la percepción y entendimiento general de la tecnología. Mougayar ha categorizado retos clave por área de impacto⁵⁵, el siguiente análisis estará basado en el mismo planteamiento:

Tabla 3.5 - Retos Blockchain

Categoría	Retos Identificados
Técnicos: Viabilidad técnica y desarrollo actual de la tecnología.	<ul style="list-style-type: none"> • Escalabilidad en términos de procesamiento para altos volúmenes de información. • Interoperabilidad con el hardware/software existente en la industria. • Falta de interoperabilidad con otros protocolos de Blockchain. • Madurez de la infraestructura disponible en el mercado (Dispositivos IoT, DERs, etc.). • Escasez de desarrolladores y soluciones maduras específicas para la industria. • Evolución continua de la tecnología. • Ausencia de estándares a nivel industria dentro del ecosistema Blockchain.
Social / Educativo: Componentes sociales, culturales y conductuales para la adopción de Blockchain a nivel industria.	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de entendimiento de la tecnología en el mercado. • Escepticismo y desilusión debido al revuelo tecnológico y promesas exageradas. • Resistencia por aceptar nuevos paradigmas en términos de confianza y transparencia. • Gestión del cambio para las organizaciones y consumidores/usuarios finales. • Visión ejecutiva limitada a nivel de industria.
Legal / Regulatorio: Principales fuentes de incertidumbre y barreras en la adopción de Blockchain.	<ul style="list-style-type: none"> • Incertidumbre regulatoria para modelos de negocio basados en Blockchain. • Regulaciones contables, fiscales y financieras aplicables a ciertos casos de uso. • Inquietudes en torno a la privacidad de datos y seguridad informática. • Rol gubernamental poco claro dentro del futuro ecosistema Blockchain de la industria. • Cumplimiento con las normas y regulaciones específicas de la industria.
Mercado / Negocio: Crítico para los tomadores de decisiones al momento de evaluar iniciativas Blockchain.	<ul style="list-style-type: none"> • Traducir necesidades de la industria a ideas e iniciativas de calidad. • Información insuficiente para respaldar el éxito de proyectos y casos de uso existentes. • Adopción de mercado a través efectos de red y una masa crítica inicial. • Modelos de negocio y estructuras de gobernanza inadecuados en proyectos propuestos. • Priorización por descentralización del mercado y experiencia de usuario. • Carencia de capital humano calificado para desarrollo/implementación tecnológica. • Mentalidad de negocio a largo plazo en dilemas costo-beneficio de innovación.

Nayam Hanashiro de R3 identificó otros retos significativos al momento de diseñar, desarrollar e implementar soluciones Blockchain. Éstos incluyen calcular un estimado del retorno de inversión con información de referencia limitada, alcanzar un nivel de comprensión a nivel ejecutivo por parte de los tomadores de decisión y encontrar un esquema de colaboración adecuado a nivel industria. Es crucial que líderes de industria evalúen estos desafíos previo a participar en una iniciativa Blockchain, ya que la mayoría de los proyectos fracasan debido a obstáculos enfrentados en estas áreas, y no en problemas de madurez o viabilidad tecnológica.

Por otra parte, inversiones en tecnologías emergentes, procesos de implementación y el desarrollo de nuevos modelos de negocio pueden desencadenar varios riesgos. No identificarlos de inmediato puede causar daños graves a un nivel organizacional, estructural y de mercado. Algunos riesgos palpables para desarrolladores de aplicaciones Blockchain, proveedores de infraestructura tecnológica, organizaciones, consorcios de industria, reguladores y gobiernos son:⁵⁶

- Riesgos transaccionales que pueden causar vulnerabilidades sistemáticas, tales como volatilidad de precios, fluctuaciones en tasas cambiarias y estabilidad de la red.
- Interoperabilidad de plataformas, tanto con sistemas de legado existentes como con futuras plataformas Blockchain alternativas que surjan en el mercado.
- Escalabilidad suficiente que permita manejar altos volúmenes transaccionales a medida que la red crezca.
- La red deberá ser capaz de llevar a cabo volúmenes comparables con escenarios reales del sector energético, como pagos, facturación generación/consumo de energía y comercio de servicios de energía. Restricciones regulatorias o falta de un marco regulatorio que provea certidumbre a inversionistas y consumidores que estén considerando interactuar con modelos de negocio basados en Blockchain. Gestión del cambio adecuada que permita una implementación Blockchain exitosa desde una perspectiva organizacional, considerando la aceptación del mercado y adopción por parte del usuario final.
- Falta de confianza en la red distribuida en términos de seguridad, privacidad de datos, integridad de la información, gobernanza, administración de accesos y mantenimiento de la plataforma.
- Capacidad de respuesta por parte del gobierno y autoridades de la industria para regular el uso de Blockchain en distintos escenarios, tales como el comercio de servicios de energía, administración de datos/activos y financiamiento de proyectos.
- Redefinición de estructuras de gobernanza a consecuencia del cambio de paradigmas predominantes en modelos altamente centralizados, conservando roles clave del gobierno, reguladores y hacedores de políticas públicas.
- Riesgo reputacional ligado a la tecnología Blockchain y a ciertos protocolos que pueden dañar la percepción del mercado en términos de fraudes, volatilidad de precios, incumplimiento de ciberseguridad, robos y desempeño de nuevos modelos de negocio.

Los Retos y riesgos que la tecnología Blockchain enfrenta actualmente son un claro reflejo de su nivel de madurez. A pesar de que aún se requiere mayor desarrollo para lograr una adopción masiva, el ecosistema Blockchain se destaca por una fuerte colaboración centrada en mejorar soluciones existentes. El sector energético continúa viendo avances significativos en este espacio, liderado por proyectos relevantes que impulsan el ecosistema a través de investigación y desarrollo, ejecución de pilotos, formación de consorcios Blockchain y experiencia adquirida de soluciones disponibles en el mercado.

3.5 Arquitectura Blockchain

Categorías de Blockchain

La tecnología Blockchain no ofrece una solución de “talla única para todos”, por lo tanto, hay múltiples modelos de arquitectura a considerar según el principal objetivo y propósito general de una aplicación de registro distribuido. Un Blockchain público se adecuan a redes completamente abiertas, en donde el acceso a la información es equitativo para todos los participantes. Un Blockchain privado por otro lado cuenta con niveles de acceso y permisos restringidos, que son asignados a cada participante de acuerdo con su nivel de autorización. La siguiente tabla ilustra las principales categorías de Blockchain a considerar:

Tabla 3.6 - Categorías Blockchain

Blockchain público	Blockchain privado	Blockchain de consorcio
Registro sin permisibilidad - cualquier usuario puede unirse a la red.	Registro permissionado - solo un grupo selecto de usuarios puede participar.	La red distribuida es controlada por un grupo de participantes.
Entorno completamente descentralizado.	Entorno distribuido entre los participantes autorizados.	Entorno parcialmente descentralizado.
El mecanismo de consenso se alcanza por medio de nodos públicos.	Motor de consenso personalizable que utilizan los nodos privados.	Los nodos participantes son seleccionados previamente.
Las transacciones son públicas y pueden ser consultadas en el registro histórico.	Los permisos de consenso para validar transacciones son controlados de manera estricta.	La red es exclusiva para un grupo seleccionado de organizaciones, no se permite la entrada cualquier participante.
El registro distribuido es completamente transparente, mostrando todas las transacciones validadas y no validadas.	El registro distribuido solamente es accesible para participantes permissionados.	El registro distribuido puede ser completamente público o contar con restricciones de permisibilidad.
Abierto a cualquier participante, nodos pueden ser añadidos a la red distribuida.	Facilita realizar cambios en las reglas del protocolo Blockchain.	Permite la verificación de nodos confiables, así como también la posibilidad de modificarlos.
E.g. Bitcoin, Ethereum, IOTA Tangle, Litecoin.	E.g. Hyperledger Fabric, Microsoft Azure, Corda.	E.g. B3i, tradelens.

Alianza Energética, 2020



Algoritmo de Consenso

Otro componente importante por considerar es el algoritmo de consenso, un mecanismo utilizado para validar y autorizar las transacciones que conforman el registro distribuido. El concepto de consenso se refiere al resultado de un proceso resolutorio de decisión llevado a cabo por un grupo sin que exista conflicto por ninguna de las partes. El término ha sido adoptado por ciencias informáticas y computacionales, y es fundamental para las tecnologías de registro distribuido.

Los mecanismos de consenso de Blockchain son un algoritmo, también descrito como un conjunto de reglas, que mantienen los registros de hechos entre nodos participantes de manera coherente. Es por este medio que los miembros de la red llegan a un acuerdo en la validación de transacciones propuestas que deben ser actualizadas en el registro distribuido, sin la necesidad de depender de un tercero que otorgue confianza a las partes. Hay varios tipos de mecanismos de consenso que se ajustan al objetivo de cada protocolo, variando en desempeño, escalabilidad, seguridad, gobernanza y tolerancia a fallos.⁵⁷ La siguiente tabla brinda ejemplos de algunos mecanismos de consenso populares y plataformas que los utilizan:

57. KPMG China (2016) Consensus: Immutable agreement for the Internet of value,; pp. 3

Tabla 3.7 - Mecanismos de Consenso

Tipo	Descripción	Ejemplo
<i>Proof of Work (PoW)</i>	Mineros/validadores compiten entre sí para resolver un problema criptográfico a través de poder computacional para validar transacciones y añadir un nuevo bloque en el registro distribuido.	<ul style="list-style-type: none"> • Bitcoin • Ethereum⁵⁸ • Litecoin
<i>Proof of Stake (PoS)</i>	Los nodos validadores son seleccionados aleatoriamente, asignándoles una probabilidad proporcionalmente relacionada a su riqueza. Por lo tanto, la generación de bloques depende de la participación que los nodos tienen invertida en el sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Neo • Dash
<i>Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)</i>	La red conoce a los nodos validadores responsables de verificar y validar nuevas transacciones, logrando un consenso en la red cuando se recopila una cantidad suficiente de firmas. Este mecanismo es apto para entornos privados y de confianza, contrario a los registros distribuidos públicos.	<ul style="list-style-type: none"> • Hyperledger • Zilliqa
<i>Federated Byzantine Agreement (FBA)</i>	Nodos/validadores escogen otros nodos de la red en los cuales confían, formando quorums (un conjunto de suficientes nodos para llegar a un acuerdo) y porciones de quorums (subconjuntos de nodos dentro de un quorum que pueden convencer a un cierto nodo para lograr un acuerdo). Las transacciones son aceptadas cuando la mayoría de los nodos de la red llegan a un acuerdo	<ul style="list-style-type: none"> • Ripple • Stellar
<i>Proof of Authority (PoA)</i>	Permisos especiales son otorgados a ciertos miembros de la red para poder generar nuevos bloques, validar transacciones y realizar cambios en el Blockchain. La red deposita su confianza en dichos nodos autorizados, donde su identidad es utilizada como un mecanismo de incentivo para mantener un registro distribuido íntegro y actualizado	<ul style="list-style-type: none"> • Energy Web Foundation • JPM Coin

Alianza Energética, 2020

Seleccionar el mecanismo de consenso es esencial para lograr una implementación efectiva de Blockchain. Es el elemento de mayor importancia detrás de la gobernanza de la red, al proveer las reglas de cómo operará el protocolo y qué rol asumirán los nodos. El mecanismo de consenso establece un control descentralizado de la red sin tener una autoridad central que proporcione confianza entre los participantes al lograr un consenso por una mayoría de la red (la definición de una mayoría también está sujeta a las reglas del protocolo).

Consideraciones importantes de gobernanza para tener en cuenta cuando se está seleccionando la arquitectura de la plataforma Blockchain son: actualizaciones en la red, la incorporación y salida de nodos, administración de permisos y accesibilidad de usuarios autorizados. Hay varios modelos de gobernanza que se ajustan a la aplicación de Blockchain y a la complejidad del caso de uso propuesto. En el caso particular del Sector Energético Mexicano es probable que una arquitectura privada o permissionada son las que mejor se alinean a las nece-

sidades de la industria, considerando preocupaciones en términos de gobernanza, privacidad y accesibilidad expresadas por representantes relevantes del sector público.

La gobernanza puede ser completamente descentralizada, permitiendo a participantes de la red decidir si están de acuerdo o no con ciertos cambios propuestos a través de actualizaciones de software voluntarias, Organizaciones Autónomas Descentralizadas (DAO's) o mecanismos de votación disponibles para usuarios. Las fundaciones de desarrollo son otra estructura de gobernanza que apoyan el crecimiento y adopción de un protocolo de Blockchain en específico a través de un proceso estratégico en la toma de decisiones que está alineado a lograr un objetivo. Finalmente, la gobernanza puede ser definida a través de un consorcio de industria en el que se definen reglas y objetivos claros, integrando los intereses de todos los participantes. Los modelos de gobernanza de consorcio son los más apropiados para soluciones a nivel industria en el sector energético debido a la complejidad y sensibilidad del mercado.

58. La red de Ethereum actualmente está implementando un cambio en su mecanismo de consenso, al pasar de un PoW a un PoS, programada para ser completada en el año 2020.

3.6 Criterios para la Adecuación Tecnológica

Preguntas Clave Para Identificar Oportunidades de Aplicaciones Blockchain

Identificar oportunidades para la adopción de Blockchain es un reto común para las organizaciones, especialmente cuando se busca traducir puntos débiles del negocio a soluciones viables. Expectativas exageradas asociadas a la tecnología han resultado en un número de casos de uso abrumador, que intentan solucionar problemas para los cuales Blockchain no es la mejor alternativa. Esto se debe principalmente a que la tecnología ha sido malinterpretada, resultando en propuestas de soluciones inadecuadas para una amplia gama de problemas.

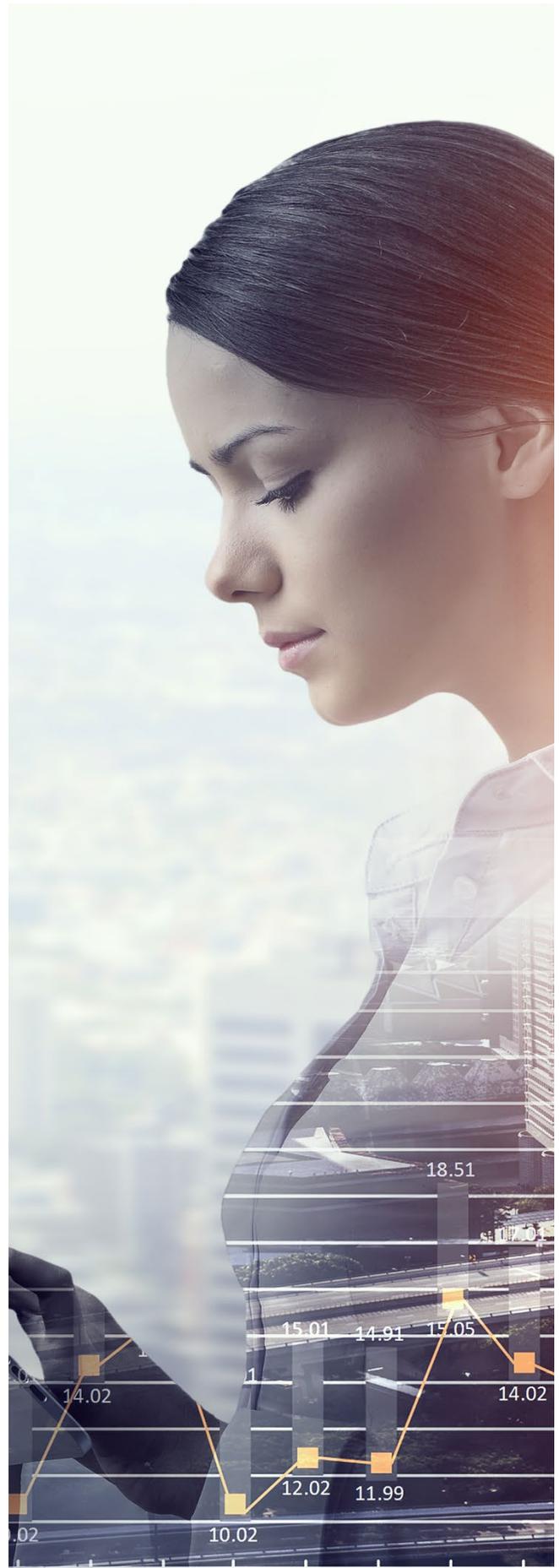
Asimismo, Blockchain no ofrece una solución estandarizada que pueda ser aplicada por igual en distintos escenarios o ámbitos.⁵⁹ Al contrario, debe ser entendida como una herramienta que se puede adaptar para solucionar puntos débiles específicos en los que la tecnología ofrece beneficios tangibles. Cada caso debe ser valorado individualmente a fin de determinar si realmente es adecuado para una implementación Blockchain. Se puede lograr una evaluación inicial al hacerse las siguientes preguntas estratégicas con respecto al proceso en cuestión:

1. ¿Hay Múltiples Participantes Compartiendo y Replicando Información?

Blockchain cobra mayor sentido cuando hay múltiples participantes replicando grandes cantidades de información, de lo contrario una base de datos tradicional probablemente sería una solución más efectiva. Un primer paso al evaluar una solución potencial de Blockchain es identificar a todos los participantes que están involucrados en un proceso, junto con la información que generan y comparten con otros participantes. Posibles participantes dentro de la industria energética podrían ser percibidos como consumidores, generadores de energía, reguladores o inclusive dispositivos inteligentes o hardware conectado al internet que generan información relevante.

2. ¿Hay Múltiples Partes Actualizando La Información?

La información registrada en el Blockchain debe ser producida continuamente y sujeta a cambios frecuentes (e.g. transacciones monetarias entre individuos). Si el proceso seleccionado consiste en transacciones ejecutadas una sola vez, entonces Blockchain no es una solución adecuada, ya que



59. Allende, M. (2018) Blockchain: Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social; Banco Interamericano de Desarrollo, pp. 28-30.

un componente clave de la tecnología consiste en habilitar un registro cronológico de información que crece continuamente. Tal comportamiento de datos puede ser visto en el suministro y consumo de energía dentro de la red eléctrica, o en el cambio de precio de ciertos bienes básicos que son comercializados en el mercado.

3. ¿Hay una Falta de Confianza Entre las Partes Involucradas?

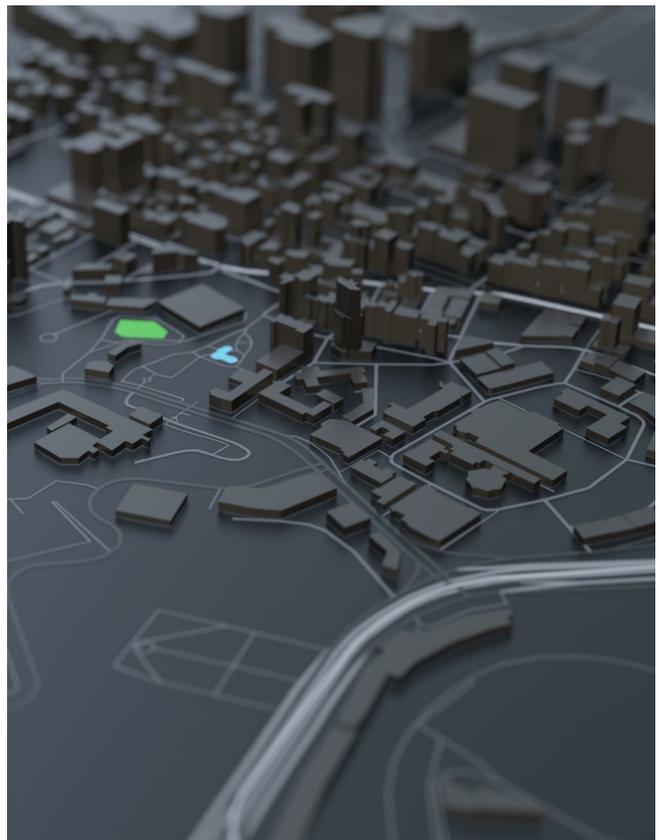
El proceso requiere de una interacción entre participantes que padecen de una falta de confianza entre ellos. Una manera de evaluar este criterio es identificar si hay intermediarios o algún tercero involucrado en el proceso para proveer confianza al momento de validar o proveer información. La naturaleza distribuida de Blockchain ofrece un mecanismo de confianza alternativo con el fin de mejorar este tipo de interacciones. Ejemplos de algunos procesos relevantes incluyen acuerdos contractuales entre generadores y distribuidores, comercio de emisiones de carbono y operaciones de financiación de proyectos.

4. ¿Son Uniformes las Reglas que Gobiernan a los Participantes?

Las reglas definidas en el protocolo de Blockchain deben aplicar equitativamente a todos los participantes. Esto incluye el mecanismo de consenso utilizado para validar y autorizar actualizaciones en el registro, la velocidad transaccional, seguridad, tamaño de los bloques y la estructura y gobernanza de la red. Sin embargo, la administración de permisos y accesos para ciertos usuarios puede variar en la visibilidad de transacciones y gestión en privacidad de la información. Por ejemplo, soluciones para la gestión de activos que involucran instalaciones y equipos especializados deben respetar reglas de gobernanza uniformes para las partes involucradas (proveedores de materiales, ensambladoras, almacenes, prestadores de servicios de mantenimiento, puntos de venta, etc.), a pesar de que no todos los participantes podrán visualizar todas las interacciones registradas, solamente aquellas que sean relevantes para ellos.

5. ¿Son Estables las Reglas de la Red?

Este es un elemento clave, dado que Blockchain es en esencia un conjunto de reglas a las que los participantes acceden cuando se unen a una red. Un cambio en dichas reglas, también conocido como un fork, debe ser aceptado por la mayoría de los participantes; aquellos que no estén de acuerdo con los



cambios propuestos podrán optar por abandonar la red. Cambios frecuentes en las reglas de una red distribuida causará que se fragmente cada vez más, disminuyendo el número de participantes y haciendo que Blockchain sea una tecnología inconveniente. Un posible cambio en la red podría estar ligado al mecanismo de consenso, al cambiar de PoW hacia PoS con la intención de incrementar la velocidad y escalabilidad en una red de rápido crecimiento.

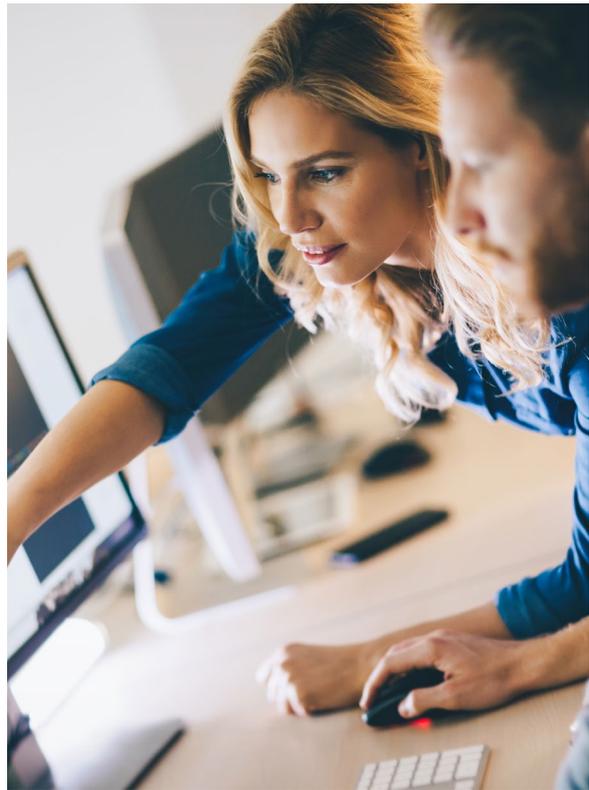
6. ¿Se Requiere Objetividad y un Registro Inmutable de la Información?

Información registrada dentro de Blockchain no puede ser alterada o eliminada. En lugar de ello, cualquier modificación requerida se deberá llevar a cabo a través de una actualización en el registro distribuido, haciendo que los cambios sean visibles por participantes de la red. Por consiguiente, Blockchain solamente deberá ser considerado bajo circunstancias en las que inmutabilidad de la información realmente agregue valor a un proceso. Un ejemplo es la trazabilidad y monitoreo de la generación y consumo de energías renovables, representando un caso convincente a favor de la objetividad de los hechos, donde los registros inmutables son de interés para actores clave del mercado.

Varios proyectos e iniciativas Blockchain han fracasado al ser desarrolladas en áreas en las que la tecnología no ofrece una solución alineada a sus principales beneficios. Los criterios mencionados anteriormente son útiles para llevar a cabo una rápida evaluación de oportunidades Blockchain, tanto desde la perspectiva del desarrollador como del usuario. Es crucial descartar situaciones en las que la tecnología no hace sentido para evitar inversiones significativas en soluciones que están destinadas a fracasar, y más importante aún, poder identificar áreas de oportunidad en las que se pueda desbloquear el máximo potencial de Blockchain.

Aplicaciones Generales de Blockchain

Otro enfoque útil para determinar cuándo Blockchain es una solución apropiada es identificar funcionalidades generales y escenarios en los que se puede aplicar. Don Tapscott ha identificado 8 características de alto impacto para el sector bancario⁶⁰, no obstante, también pueden ser analizadas desde la perspectiva de otras industrias. Debajo se encuentran ejemplos de dichas características aplicadas al sector energía:



1. **Autenticación de Identidad y Valor:**
Certificación de origen a través de créditos de huella de carbono.
2. **Traslado de Valor:**
Transacciones que involucran bienes o servicios, por ejemplo, el comercio de energía bajo modelo peer-to-peer.
3. **Almacenamiento de Valor:**
Criptomonedas o tokens que representen generación de energía en kWh.
4. **Préstamo de Valor:**
Mercados de bonos verdes o medidores que cuenten con esquemas de prepago.
5. **Intercambio de Valor:**
Coberturas de productos básicos a través de instrumentos financieros programados en contratos inteligentes.
6. **Financiamiento e Inversión:**
Mecanismos de financiación de proyectos basados en tokens para inversiones en infraestructura.
7. **Asegurar Valor y Gestionar Riesgos:**
Prueba de propiedad de activos y protección de estos a través de un rastro auditable.
8. **Contabilización del Valor:**
Facturación y liquidación automatizada para contratos tipo PPA.

⁶⁰. Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016). Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin is Changing Money. Estados Unidos de América: Portfolio; pp 64.



El Rol de Consorcios

La naturaleza intrínseca de Blockchain está ligada al desarrollo de ecosistemas distribuidos, actuando como un catalizador para la colaboración a nivel industrial encaminada a resolver dolores comunes del sector (e.g. fraudes, robos, transparencia, asimetría de la información, cumplimiento regulatorio, informes, etc.) mientras se mantiene una competencia saludable. Una plataforma Blockchain ofrece una solución eficiente y confiable para dar apertura a la comunicación e intercambio de información bilateral entre jugadores relevantes del mercado, incluyendo: organizaciones, reguladores, autoridades gubernamentales, órganos supervisores, entidades internacionales, asociaciones, entre otros.

Hay varias consideraciones para tener en cuenta al momento de diseñar un consorcio Blockchain a nivel industria. En primer lugar, todas las partes involucradas deben definir la gobernanza de la red en términos de la estructura legal y organizacional, roles y responsabi-

dades, gestión de riesgos, cumplimiento regulatorio y la posible entrada y salida de participantes en el futuro. En segundo lugar, se deben establecer las ambiciones financieras del consorcio: ingresos, inversiones, márgenes y el modelo económico subyacente de la solución.

A continuación, se debe diseñar el modelo de negocio, incluyendo el mercado objetivo, enfoque de la cadena de valor, canales, productos y servicios; adicionalmente se debe desarrollar un caso de negocio para que los actores interesados puedan evaluar la viabilidad del consorcio. En última instancia se define el modelo operativo, que incluye la tecnología e infraestructura utilizada, los procesos de negocio centrales que serán intervenidos, aspectos de gente y cultura, indicadores/métricas a evaluar e incentivos que girarán en torno a la solución propuesta. La siguiente tabla muestra los principales puntos débiles a los que se enfrenta una industria y los beneficios asociados a iniciativas de consorcios Blockchain.

Tabla 3.8 - Puntos Débiles a Nivel Industria & los Beneficios de un Consorcio Blockchain

Puntos débiles a nivel industria	Beneficios clave
Conciliaciones ineficientes de datos entre las partes involucradas.	Única fuente de la verdad para todos los participantes, evitando disparidades en las conciliaciones.
Acceso diferido/insuficiente a datos relevantes debido a un rastro auditable documentado en papel.	Acceso a datos en tiempo real para transacciones o interacciones que ocurren entre los participantes.
Percepción limitada en procesos de controles internos implementados por participantes de la industria.	Más información acerca de los procesos y controles de cada participante de la red.
Es necesario que participantes de la industria cumplan con múltiples requerimientos regulatorios.	Reducción de costos en términos de cumplimiento regulatorio para todos los participantes.
Esfuerzos administrativos duplicados a consecuencia de procesos ineficientes.	Implementación de un marco estandarizado para todos los participantes involucrados.
Los reguladores tienen acceso limitado a información relevante de participantes de la industria.	Permite una supervisión regulatoria activa por parte de las autoridades relevantes de la industria.

Alianza Energética, 2020

Una iniciativa de consorcio exitosa para una solución Blockchain está fuertemente vinculada a la presencia de un liderazgo claro. Organizar a jugadores relevantes del mercado hacia una meta compartida es una labor compleja, requiere de un líder que pueda apoyar a todos los participantes al momento de establecer una agenda específica en la que se basará la propuesta Blockchain y la evaluación de casos de uso. Adicionalmente, involucrar a reguladores y trabajar de cerca con ellos en el desarrollo de una solución viable y de estándares de industria a favor de todos los participantes será de alto valor cuando se constituya el consorcio. Nicolò Rosetto, de la *Florence School of Regulation*, afirmó durante una entrevista que es importante desarrollar mecanismos de coordinación más sólidos en un sistema energético cada vez más descentralizado. La descentralización añade una capa adicional de complejidad al sistema, en donde es necesario coordinar un mayor número de jugadores. Un consorcio Blockchain a nivel industria representa un primer paso para lograrlo.

El rol de liderazgo probablemente será definido conjuntamente por los participantes del consorcio; cabe mencionar que no deberá ser asumido necesariamente por un jugador clave de la industria (e.g. productores, proveedores de servicios, operadores, reguladores, gobierno). Es posible que el rol sea asumido por un jugador externo que este familiarizado tanto con el sector energético como con la tecnología Blockchain a fin de poder ofrecer un apoyo integral a lo largo de todos los componentes críticos a considerar durante la implementación del consorcio. Ultimadamente, un liderazgo claro deberá estar orientado hacia la coordinación que permita desarrollar una solución que brinde beneficios a todos los jugadores involucrados y a la industria energética en su totalidad.





0101010001001
100 00 010100
01 101000 001
100 00 010100
100 00 010100
0101010001001



0101010001001
100 00 010100
01 101000 001
100 00 010100
100 00 010100
0101010001001

0101010001001
100 00 010100
01 101000 001
100 00 010100
100 00 010100
0101010001001



4. Blockchain en el Sector Energético

4.1 Principales Actores y sus Roles

Para que Blockchain sea implementado en el Sector Energético Mexicano, los jugadores y las partes interesadas dentro del mercado deben conocer sus beneficios para que muestren interés y actúen hacia la digitalización del sector, así como crear nuevos modelos comerciales y operativos, ambos habilitados a través de esta tecnología. Un factor importante por considerar es que la colaboración es de suma importancia para la implementación de Blockchain, lo que significa que las organizaciones privadas, públicas y no gubernamentales deben trabajar juntas y sincronizadas.

Como mencionó Ole Langniss, se necesita colaboración entre la industria nueva y la antigua, no hay una sola compañía con la solución, lo que significa que varias compañías deben trabajar juntas y contribuir a través de su experiencia y recursos hacia un objetivo común. Los expertos también mencionaron que se necesita colaboración dentro de una empresa, los equipos de TI no deberían ser los únicos involucrados en la adopción de las soluciones Blockchain, se necesita educación y comunicación en toda la empresa.

Por lo general, el sector público define el marco regulatorio que permite al sector privado explorar la tecnología y crear soluciones habilitadas para Blockchain, mientras que las ONG o asociaciones apoyan el proceso. Sin embargo, la colaboración también es importante desde una perspectiva intersectorial. En este caso, las compañías tecnológicas deben apoyar a las compañías de energía con las perspectivas técnicas y tecnológicas de las soluciones Blockchain para permitir que las soluciones viables generen beneficios en toda la cadena de valor eléctrica.

El sector público desempeña un papel clave para habilitar el potencial de Blockchain, ya que se encarga de establecer el marco regulatorio que puede impulsar o desalentar la adopción de esta tecnología. Son responsables de crear políticas públicas y establecer incentivos que podrían promover o retrasar la adopción de Blockchain. Por otro lado, el sector privado impulsa la innovación para descubrir nuevas aplicaciones de la tecnología e invierte en el desarrollo de soluciones Blockchain.

El esquema de colaboración mencionado podría variar de un país a otro, dependiendo de cómo esté estructurado y regulado el sector. Los roles clave de los jugadores y las

partes interesadas para México se describen a continuación. Es relevante señalar que esto es direccional y podría cambiar con el tiempo según la evolución del sector. En México, al considerar la creación del marco regulatorio para Blockchain desde una perspectiva intersectorial, se lleva a cabo un proceso legislativo en el que varias entidades públicas tienen un papel clave. Durante este proceso, el Gobierno Federal presenta iniciativas, promulga y publica leyes y decretos; y diputados y senadores federales participan en la presentación de iniciativas y, cuando corresponde, en la aprobación de las leyes y decretos correspondientes. Si se trata de una regulación sobre el uso de activos digitales, como tokens o criptomonedas, la comisión bancaria es responsable del marco regulatorio.

En las entrevistas a expertos se mencionó repetidamente que los sandboxes podrían permitir a las empresas innovar libremente, probando nuevos modelos de negocios y nuevas tecnologías sin barreras regulatorias o restricciones para explorar e identificar las regulaciones adecuadas.

Desde una perspectiva energética, SENER se encarga de definir la política energética del país y promover la investigación sobre nuevas tecnologías. Sin embargo, aparte de la promoción de la investigación, SENER podría no estar muy involucrado en el establecimiento de un marco regulatorio para el uso de Blockchain, a menos que esta tecnología muestre la necesidad de una regulación particular específicamente para el sector energético.

Para una comprensión profunda de la tecnología Blockchain, y así liberar su potencial, es necesario invertir en I + D. La entidad que está a cargo de la I + D en México es el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), una organización pública y descentralizada que pretende ser la entidad asesora del Poder Ejecutivo Federal y es responsable de promover el desarrollo de la investigación científica, desarrollo tecnológico e innovación, con el fin de fomentar la modernización tecnológica del país. Los académicos también ayudan a generar y difundir conocimiento para facilitar la integración de esta tecnología en el sector. Karla Cedano, del Instituto de Energía Renovable de la UNAM, mencionó que hay un problema con el enfoque de talento de México. Hay mucho talento en México para el desarrollo de un sistema digital de energía, pero no está integrado.

Todos actúan de forma independiente, lo que ralentiza el progreso de la digitalización en el mercado local. La academia debe ayudar a integrar estos esfuerzos, así como a continuar desarrollando el talento.

Los bancos de desarrollo como Bancomext o Nafin podrían participar a través del financiamiento de Blockchain y proyectos de digitalización, ya que su objetivo es contribuir al desarrollo económico del país al impulsar la innovación, mejorar la productividad y crear empleos. Actualmente, los bancos de desarrollo tienen roles activos en el financiamiento y otorgamiento de créditos para proyectos de generación de energía a bajas tasas de interés, estos bancos podrían comenzar a financiar y apoyar proyectos de digitalización y tecnología que también podrían crear empleos y mejorar la competitividad.

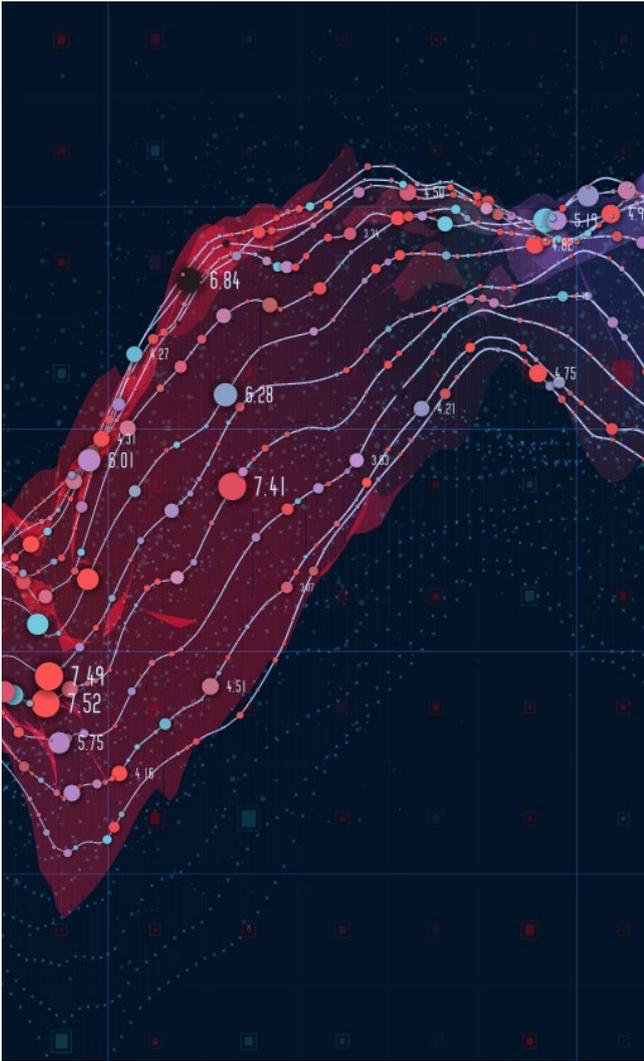
Las asociaciones y organizaciones no gubernamentales (ONG) crean e impulsan un enfoque de colaboración entre los diferentes participantes en el mercado para identificar y comunicar constantemente las principales preocupaciones del sector. Establecen prioridades o áreas para enfocarse dentro del sector y sirven como puente entre el sector público y otras organizaciones privadas. Las fundaciones son organizaciones no lucrativas con un objetivo específico que generalmente benefician a una comunidad o sector. Un ejemplo podría ser Energy Web Foundation, que construye infraestructura central y soluciones para la trazabilidad de la energía y la flexibilidad de la red, acelerando la adopción de soluciones comerciales y fomentando una comunidad de práctica.

El CENACE también podría ser un jugador clave, ya que está a cargo del Mercado Eléctrico Mayorista, en el que existe un alto volumen de transacciones, y Blockchain podría permitir múltiples beneficios en toda su cadena de valor. Como organización independiente, el operador podría aplicar Blockchain a sus operaciones diarias para mejorar la transparencia con respecto a las transacciones dentro del Mercado Eléctrico Mayorista y/o mejorar el monitoreo y control en la generación de electricidad para satisfacer la demanda.

CFE también podría encontrar Blockchain útil para sus operaciones, ya que es la empresa encargada de la transmisión y distribución, en la que la transparencia entre las transacciones dentro del mercado es muy relevante. Por ejemplo, se requiere saber, para cada punto de consumo, si la energía se suministró mediante un suministro básico o si se compró a un generador privado para determinar quién debe ser compensado. Como el principal proveedor en el país, tiene que hacer una cantidad considerable de facturación y compensación que podría automatizarse a través de Blockchain.

Por otro lado, el sector privado también tiene un papel importante en este desarrollo. Las entidades reguladoras públicas están a cargo de crear un marco que fomente el uso de Blockchain, pero la mayor parte de la inversión podría provenir del sector privado. Kira Potowski comentó que el sector privado tendrá un papel principal en la digitalización energética, teniendo en cuenta que ellos son los responsables de exigir la cooperación del sector público para permitir la innovación.





Las grandes compañías de energía implementan Blockchain en sus modelos comerciales y operativos para aprovechar los beneficios que ofrece esta tecnología, estas compañías tienen la ventaja de tener considerables recursos monetarios y humanos para invertir en la implementación de Blockchain, sin embargo, son menos flexibles para cambiar su modelo de negocio por completo. Por otro lado, las start-ups están creando nuevos modelos de negocios habilitados por Blockchain, tienen más flexibilidad, lo que les facilita adaptar o cambiar su modelo de negocio.

Las empresas tecnológicas exploran los usos de Blockchain como una solución intersectorial, invirtiendo tiempo y recursos en la creación de ofertas comerciales como la gestión de activos o servicios de transacciones. Las empresas relacionadas con la energía utilizan esta investigación previa o desarrollan nuevos conocimientos para adaptarla al sector energético con servicios como los certificados de origen. Incluso podríamos ver alianzas entre empresas tecnológicas y energéticas que trabajan en conjunto para encontrar las soluciones de Blockchain ideales para el sector energético.

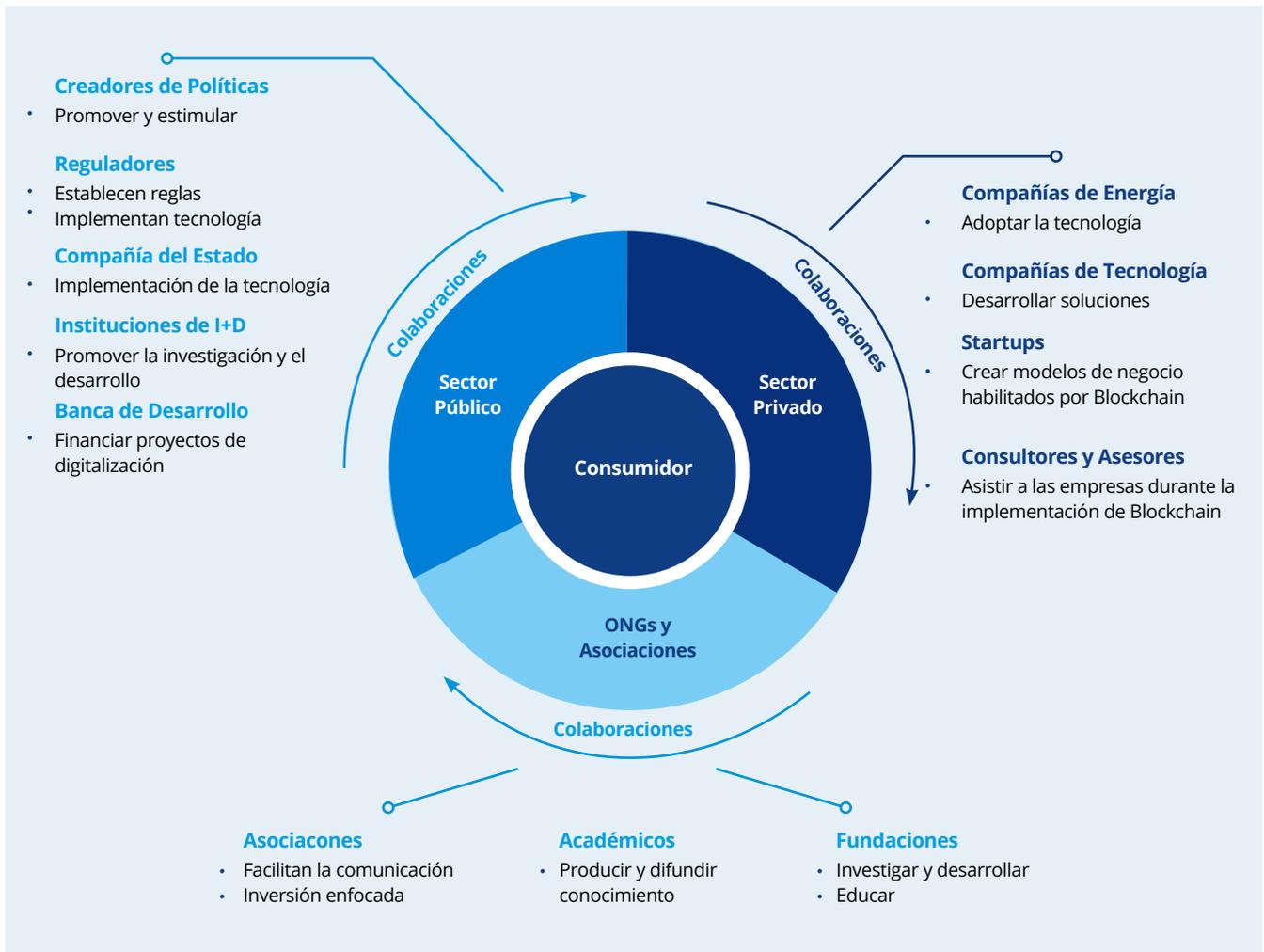
Los DAO son organizaciones que no tienen una persona o institución que los opere. Utilizan una red interconectada de contratos inteligentes para automatizar la mayoría de sus procesos esenciales y no esenciales. El papel de un DAO es generar ecosistemas descentralizados a través de modelos de negocios y aplicaciones basadas en la tecnología Blockchain. El PoW de Bitcoin es un ejemplo, donde la gobernanza se descentraliza entre los mineros a través de mecanismos de incentivos. También puede darse el caso de que un protocolo público de Blockchain tenga un área de desarrollo que se encargue de llevar a cabo actividades técnicas y comerciales relacionadas con el desarrollo de un determinado ecosistema de Blockchain para lograr objetivos y metas predefinidos.

Expertos de la industria y consultores externos ayudan a la digitalización del sector energético al proporcionar conocimiento y experiencia de especialistas en áreas tales como: energía, transformación digital o tecnologías digitales particulares como Blockchain. Podrían facilitar la adopción de Blockchain generando conocimiento, evaluando proyectos, asegurando el cumplimiento de las normas y estándares de la industria, creando estrategias y apoyando durante la implementación de la tecnología.

Otro actor relevante, a veces no considerada, pero con un papel importante en la adopción de Blockchain, es el consumidor. La comunidad debe comprender los beneficios de Blockchain y confiar en la tecnología para que sea utilizada, porque incluso si las empresas privadas adoptan Blockchain y ofrecen soluciones de Blockchain, la comunidad no exigirá estos servicios hasta que comprenda los beneficios y ventajas que Blockchain puede ofrecerles. En una entrevista, José Miguel Bejarano de Siemens Energy declaró que, si las compañías de energía implementan nuevas tecnologías como Blockchain, los consumidores se beneficiarán de dos maneras. Primero, al digitalizar las operaciones de la compañía, los costos de producción disminuirán y el precio para generar 1MWh también disminuirá, lo que se transferirá a la factura de electricidad del consumidor (principalmente usuarios calificados).

En segundo lugar, proporcionará una mayor fiabilidad y transparencia para acceder y comprender los precios y las tarifas.

En conclusión, se deben realizar múltiples esfuerzos coordinados para descubrir y desbloquear el potencial de Blockchain. No es una responsabilidad aislada, ya que requiere la conciencia y el compromiso de cada parte interesada. El siguiente cuadro representa a los jugadores y sus posibles roles en el Sector Energético Mexicano.

Gráfico 4.1 - Principales Actores y sus Roles

Alianza Energética, 2020

Otro factor importante que podría impulsar el uso de Blockchain en el sector eléctrico mexicano es el panorama internacional en términos de desarrollo tecnológico, identificación de modelos comerciales y madurez del ecosistema. Dado que hay países que han mostrado un progreso considerable en materia de Blockchain, es probable que otros países, como México, intenten replicar las mejores prácticas en todo el mundo; Este enfoque requiere una adaptación adecuada de acuerdo con el contexto local, teniendo en cuenta factores regulatorios, económicos, de infraestructura y políticos.

La mayoría de las compañías internacionales de energía ya están lanzando proyectos en países desarrollados para probar esta nueva tecnología en el mercado. A pesar de que las compañías de energía han comenzado a implementar Blockchain en algunos países desarrollados como Alemania, España y Estados Unidos, México está comenzando a ver algunos pilotos y pruebas de soluciones Blockchain desarrolladas en otros sectores por compañías como IBM

con casos de uso para seguros y cadena de suministro y Lumit para contratos digitales y firmas criptográficas.

Francis Pérez, CEO de Ramadasa, señaló que las compañías locales de energía tendrán que competir con organizaciones internacionales que están más avanzadas en digitalización ya que se han aprovechado de sus economías de escala. Esto les permite trabajar en sus propios desarrollos y soluciones sin la necesidad de depender de un tercero. Por lo tanto, las empresas mexicanas enfrentarán el desafío de mantenerse al día con las tendencias de digitalización mientras se mantienen competitivas con los jugadores internacionales.

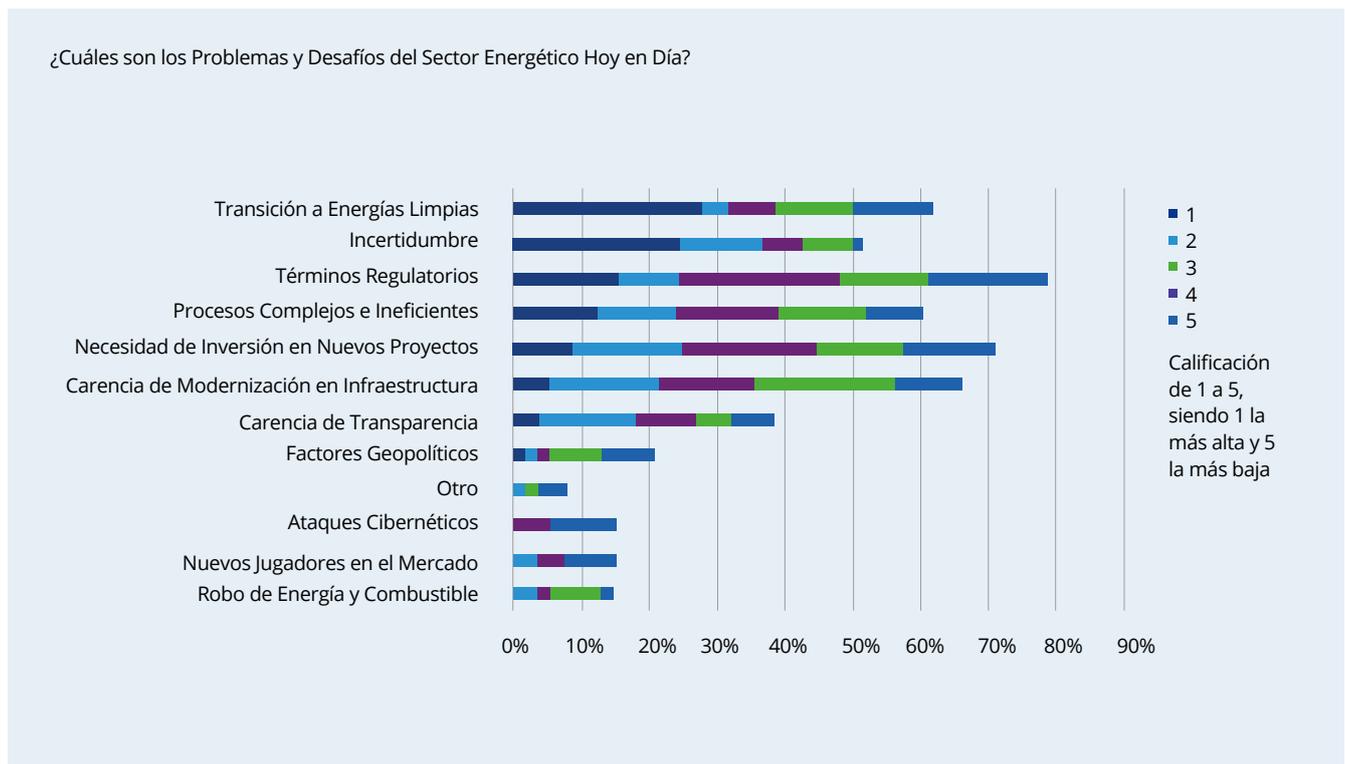
4.2 Retos y oportunidades del sector

A lo largo de esta sección, se analizará el panorama del sector eléctrico mexicano para identificar sus puntos críticos y desafíos actuales a fin de encontrar oportunidades y beneficios que la digitalización pueda aportar al sector.

Para obtener una mejor comprensión de la perspectiva general del sector energético en este asunto, se han realizado una serie de encuestas y entrevistas individuales con expertos de la industria. Se les pidió que seleccionaran los 5 retos o problemas más relevantes en el sector

energético de las opciones proporcionadas y calificaran los seleccionados en una escala del 1 al 5, siendo 1 el más relevante y 5 el menos. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Gráfico 4.2 - Retos Actuales del Sector Energético



Alianza Energética, 2020

El desafío que con mayor frecuencia se consideró como el más relevante según el grupo de expertos consultados es la transición a la energía limpia. Esto representa un obstáculo importante ya que tiene un efecto en toda la cadena de valor, cambia las tecnologías utilizadas para la generación, aumenta la complejidad de la red de transmisión y distribución y puede funcionar como valor agregado en el comercio de energía.

En cuanto a los generadores, se ha avanzado mucho en la transición a la energía limpia, los avances en la eficiencia energética y las reducciones de costos en los equipos de energía renovable han facilitado inversiones y las han hecho más rentables. Estos avances están haciendo crecer la generación distribuida a tasas exponenciales, que es uno de los principales desafíos de la transición a la energía limpia. El creciente número de prosumidores representa una gran cantidad de transacciones y datos que deben ser rastreados y analizados en tiempo real. Se requiere un operador de mercado altamente digitalizado y eficiente, con acceso a plataformas tecnológicas capaces de pro-

porcionar transparencia, certeza y confianza al mercado. Blockchain podría ser una de las herramientas utilizadas para acceder y monitorear toda esta información de manera eficiente, así como para almacenarla de manera inmutable y segura, brindando certeza y confianza a los participantes del mercado.

El próximo gran desafío con respecto a la transición de energía limpia es la gestión de los recursos distribuidos de energía, así como la complejidad que la energía limpia está generando en la red eléctrica. Meerim Ruslanova, de Energy Web Foundation, señala que la rápida descentralización, descarbonización y la creciente complejidad del sector energético ponen a prueba su actual infraestructura de TI. Por ejemplo, los sistemas de trazabilidad de energía renovable en mercados como la UE y EE. UU. Han funcionado bien durante más de dos décadas. Sin embargo, hoy en día los sistemas de seguimiento enfrentan desafíos ya que las soluciones digitales subyacentes están desactualizadas, aisladas y no están bien adaptadas para acomodar un número cada vez mayor de dispositivos y actores.



La solución para este reto podría ser tecnológica. La modernización de una red eléctrica tradicional a una red inteligente es esencial para proporcionar un suministro seguro y resiliente. El uso de tecnologías como baterías, sensores IoT, medidores inteligentes, inteligencia artificial y la modernización de la red son claves para una red eléctrica efectiva con una alta mezcla de energía limpia. Esto significa que una transición a un sector con una alta combinación de energía limpia requiere inversiones en la modernización de la infraestructura actual, que es uno de los desafíos más mencionados de la encuesta. Hasta que tengamos un sector digitalizado y se hayan desarrollado baterías de almacenamiento, los combustibles fósiles y la generación flexible, como la energía hidroeléctrica, ayudarán a proporcionar resistencia a la red, como mencionó Emma Díaz Ruiz, la energía fósil puede servir para estabilizar la red y satisfacer la demanda en puntos pico de consumo. Otra opción para crear resiliencia para la red es conectar la red nacional con otros países para exportar excedentes e importar cuando sea necesario, al igual que un sistema de generación flexible.

Los siguientes dos factores considerados como temas relevantes son la incertidumbre y los términos regulatorios. Esto significa que los expertos no tienen una visión clara de la dirección del mercado y del marco regulatorio que gobernará la industria en un futuro cercano. Como es un sector altamente regulado, los participantes del

mercado dependen en gran medida de este elemento y una definición clara del marco regulatorio es clave para el desarrollo de la industria. La falta de certeza con respecto a las regulaciones de electricidad puede dificultar la planificación financiera, incluida la previsión de flujo de efectivo. Los términos regulatorios también se refieren a los procesos complejos y burocráticos para ciertas actividades en la cadena de valor eléctrica. Un área de oportunidad en el sector, según Pablo Anzorena, es automatizar ciertos procedimientos con el gobierno donde la información solicitada puede ser sistematizada a través de datos coherentes que permitan que los procedimientos en línea se lleven a cabo de manera más eficiente, permitiendo a las autoridades verificar y autorizar la mayor parte de la información y los requisitos dentro de estos procesos.

Los factores mencionados anteriormente, también se refieren a la incertidumbre con respecto a las regulaciones que pueden fomentar la adopción de Blockchain en el sector. Se preguntó a los expertos consultados si los marcos regulatorios actuales en sus países fomentan la digitalización del sector, donde el 17% está totalmente de acuerdo y el 22% está de acuerdo con esta declaración, mientras que otro 9% está totalmente en desacuerdo y el 52% está en desacuerdo. En el caso del mercado mexicano, el uso de activos virtuales como las criptomonedas es la única aplicación de Blockchain actualmente incluida en el marco regulatorio mexicano.

El primer planteamiento regulatorio relacionado con Blockchain en México, con respecto a Fintech, Open banking y Virtual Assets se materializa en la ley que regula las Instituciones de Tecnología Financiera, mejor conocida como la Ley Fintech, que entró en vigor en 2018, y fue emitida por la Banca Nacional y Comisión de Valores (CNBV). Esta regulación establece los conceptos básicos sobre el uso autorizado de activos virtuales y criptomonedas y establece que las Instituciones de Tecnología Financiera solo pueden operar con una cartera de activos virtuales previamente determinada y explícitamente autorizada por Banxico, el Banco Central de México con autorización previa.

En marzo de 2019, Banxico publicó la circular 4/2019 con disposiciones generales relacionadas con los activos virtuales, que establece que tanto las instituciones de crédito como las instituciones de tecnología financiera, autorizadas para operar con este tipo de activo, solo pueden hacerlo en transacciones internas y deben implementar controles para evitar transferir los riesgos que representan a los clientes finales y usuarios. Este conjunto de regulaciones con respecto a las operaciones con activos virtuales (BANXICO, 2019) establece las siguientes reglas generales para las instituciones que tienen la intención de operar activos virtuales:

- Los activos virtuales solo pueden ser transaccionados en operaciones internas y se debe mitigar la transferencia de riesgo directa o indirecta a los clientes.
- Los servicios de intercambio, transmisión o custodia de activos virtuales contratados directamente con los clientes están prohibidos.
- Las características de los activos autorizados se determinan en detalle en relación con el valor del activo subyacente, los controles de emisión y los protocolos, principalmente para evitar la volatilidad, las réplicas y el uso concomitante.
- Banxico, como parte del grupo de innovación financiera constituido por organismos federales responsables de supervisar la ley de tecnología financiera, es el organismo responsable de la autorización para operaciones de activos virtuales, con previa presentación por parte de las instituciones mediante un expediente que solicita la autorización.
- Dicha solicitud de autorización debe incluir un modelo de negocio, beneficios y manuales operativos que describan los mecanismos en los que se transmitirán los activos virtuales, una matriz comparativa con una explicación explícita de cómo se satisfará la regulación, protocolos, mercado, controles, roles y responsabilidades del personal involucrado, riesgos políticos y procedimientos de evaluación y mitigación, entre otros.

El siguiente factor que los expertos consideran un desafío se refiere a procesos complejos e ineficientes. Como se mencionó anteriormente, existen procesos complejos dentro del sector energético que incluyen validaciones, verificaciones, compensaciones, conciliaciones, etc. en toda la cadena de valor. Hay varios estudios, requisitos y aprobaciones necesarios para casi todas las acciones en el sector, que generalmente implican enviar y recibir información entre diferentes actores, incluidas verificaciones para identificar errores y luego corregirlos.

Muchos de estos procesos podrían digitalizarse para ofrecer una solución transparente y eficiente, que ofrezca beneficios tangibles para los actores del mercado al simplificar y racionalizar procesos complejos que podrían considerarse un punto débil en el sector. Los actores relevantes podrían cargar información en una plataforma donde las autoridades podrían verificarla en períodos casi en tiempo real, proporcionando transparencia y trazabilidad a todos los participantes involucrados.

Una solución basada en Blockchain podría mejorar aún más dicha plataforma, ya que todas las partes involucradas tendrán acceso a la misma información (única fuente de verdad), optimizando así el tiempo de respuesta para los procesos de verificación y validación. Esto también beneficiará a las autoridades al proporcionar un canal de comunicación bilateral con los actores del mercado que les permitirá revisar virtualmente los requisitos y el cumplimiento en tiempo real, ahorrando costos y tiempo. Del mismo modo, a los participantes de la industria les resultará más fácil cumplir con las reglamentaciones mediante el uso de soluciones digitales que mejoran los procesos relacionados mediante la coordinación, el seguimiento y la reconciliación entre los sectores público y privado, mejorando la comunicación con respecto a las nuevas reglamentaciones emitidas y reduciendo los puntos débiles en todo el mercado (Douglas Miller, Market Development at Energy Web Foundation, comunicación personal, abril de 2020).

Se preguntó a los expertos sobre las principales oportunidades de digitalización para el sector energético. La generación y gestión de datos se considera constantemente como una oportunidad para el sector. Como se sabe, los datos cada vez se vuelven más valiosos con el tiempo, ya que ofrecen eficiencia, mejor toma de decisiones, reducción de costos y una respuesta más rápida a los cambios. José Aparicio, CEO de Siemens Energy México, declaró en una entrevista que es importante tener una comprensión clara de cómo se pueden usar los datos disponibles para crear valor, así como para optimizar el uso de la información al implementar tecnologías digitales (computación en la nube y análisis de datos). Si la infraestructura distribuida se desarrolla sin la capacidad de acceder y comprender la información disponible, los riesgos de la red tendrán un aumento considerable.

Data and Analytics (D&A) puede proporcionar soluciones en toda la cadena de valor eléctrica. Un ejemplo está relacionado con el uso de datos para permitir el mantenimiento preventivo de equipos e infraestructura. Con el uso de datos, un generador puede saber cuándo la planta o el equipo necesitarán mantenimiento de acuerdo con su rendimiento habitual y ciertos indicadores clave de rendimiento (KPI). Gerónimo Martínez afirmó que el mantenimiento preventivo tiene múltiples beneficios, tales como: decisiones basadas en datos, inversiones informadas, control remoto de activos y certeza operativa.

Una oportunidad clave mencionada por expertos en el sector eléctrico se refiere a la red de transmisión y distribución. Se considera que gran parte de la infraestructura de transmisión y distribución no está preparada para la creciente demanda, dinamismo y complejidad que

enfrenta el sector eléctrico. Hay varios nodos que están muy congestionados, específicamente en las regiones noroeste y peninsular donde la demanda ya ha superado la capacidad aumentando los precios de la energía en un 25% (CIEP, 2019).⁶¹ Varios expertos acordaron que las líneas de transmisión y distribución deberían ser una prioridad con respecto a las inversiones en la infraestructura de la electricidad, ya que una red congestionada compromete su confiabilidad y seguridad.

Rubén Cruz, líder de energía en KPMG México, mencionó que existe la oportunidad de mejorar el monitoreo de datos en la red de transmisión y distribución, al tener información de consumo precisa y en tiempo real para distinguir las pérdidas técnicas de las no técnicas e identificar dónde las pérdidas no técnicas se encuentran. En México hay pérdidas considerables en la red y para implementar una estrategia para disminuir estas pérdidas es importante identificar dónde están las pérdidas de energía. Este es otro ejemplo de los beneficios de recopilar y analizar datos a través del sistema.

Como se mencionó en este capítulo, hay varios retos que el sector energético necesita superar, sin embargo, a medida que surgen nuevos desafíos, también surgen nuevas tecnologías, proporcionando nuevas funcionalidades y beneficios. Es importante comprender estos retos y las

nuevas tecnologías para identificar dónde una tecnología puede ser una solución.

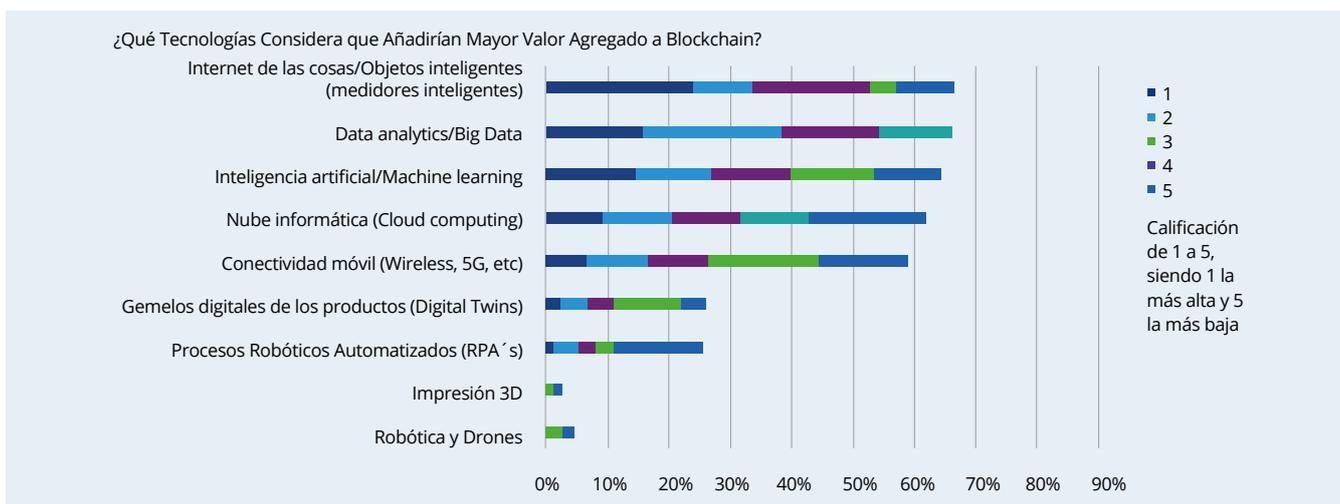
4.3 Tecnologías Adicionales a Considerar

La adopción de nuevas tecnologías ha beneficiado al sector energético en cuanto a su seguridad, productividad y reducción de costos. Las tecnologías digitales están ampliamente disponibles y sus costos han disminuido drásticamente en los últimos años, particularmente para sensores y software de soporte, lo que lleva a un aumento en la penetración dentro del sector.

Estas tecnologías maximizan su potencial cuando trabajan e interactúan entre sí, lo que se aplica igualmente a Blockchain. El potencial de Blockchain se maximiza cuando se introduce a un sistema integral e interactúa con otras tecnologías; Dado que Blockchain es una plataforma de información, necesita otras tecnologías para generar, automatizar y / o analizar los datos que contiene, sin embargo, es importante mencionar que la mayoría de los sistemas funcionales aún requieren la interacción humana.

En la encuesta realizada, preguntamos a los expertos qué tecnologías creen que agregan un mayor valor a Blockchain, los resultados se presentan a continuación:

Gráfico 4.3 - Tecnologías de Valor Agregado para Blockchain



Alianza Energética, 2020

Casualmente, las tecnologías que se identificaron como las que ayudarán al sector energético a superar sus desafíos son las mismas tecnologías que los expertos seleccionaron como las que agregan el mayor valor a Blockchain. En ambos casos, las 3 principales tecnologías mencionadas fueron IoT, IA y Big Data. Arturo Duhart, CEO de Sunwise, afirmó que IoT y AI llevan a la automatización, mientras que Blockchain brinda a los usuarios

más libertad en la forma en que usamos y accedemos la información. Ambas son tecnologías que se complementan entre sí y ofrecen grandes beneficios cuando trabajan en conjunto. Lo importante es renovar la infraestructura y el sistema actual, ya que un sistema antiguo no podrá adoptar nuevas tecnologías con éxito.

61. Limón, A. (2019). Diagnóstico de costos de congestión en la Red Nacional de Transmisión. Ciudad de México, México. Obtenido de CIEP Sitio web: <https://ciep.mx/diagnostico-de-costos-de-congestion-en-la-red-nacional-de-transmision/>

Esto significa que existe un claro potencial para que Blockchain cree sinergias con estas tecnologías para ofrecer soluciones integrales que ayuden a las organizaciones públicas y privadas a mejorar su rendimiento y a ser más rentables, al tiempo que crean un sector eléctrico más eficiente y confiable.

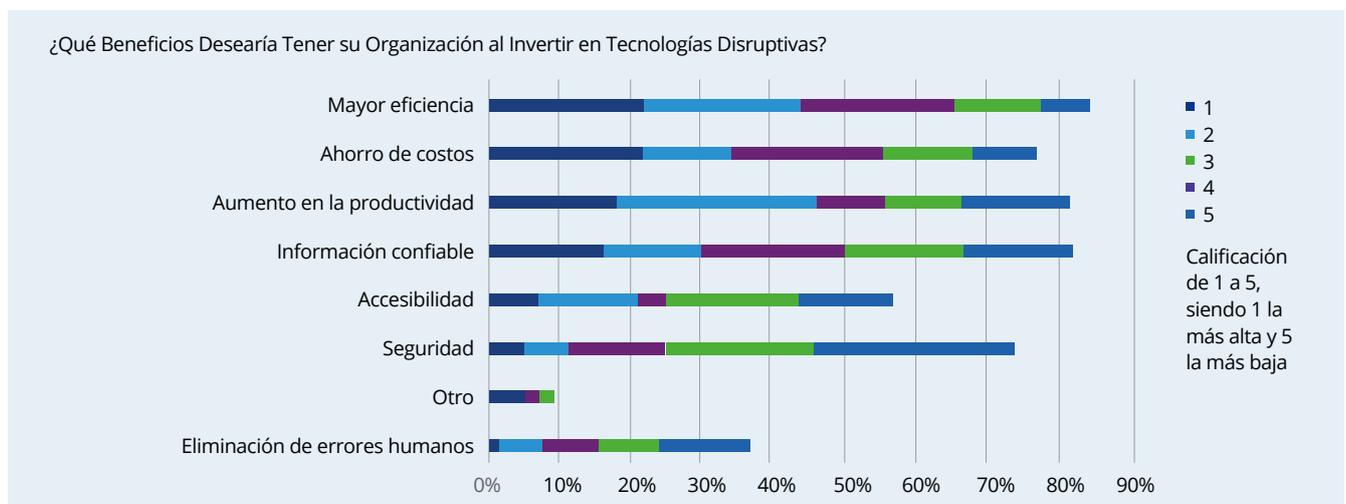
4.4 Modelos de Negocio Blockchain Emergentes en el Sector Energético

El desarrollo de nuevos modelos de negocio que aprovechan las tecnologías digitales, así como la transformación de las existentes, se conoce comúnmente como digitalización, que a su vez representa una de las tres tendencias principales en la industria energética. El 64% de los expertos de la industria expresó la importancia de la digitalización en su organización como crítica, mientras que el 26% considera que es importante, el 8% como relevante, pero no una prioridad estratégica y el 2% restante como no relevante en absoluto. Sean Ratka, de IRENA, ha señalado que DLT no es una disrupción en

el sector energético, sino una solución a la disrupción causada por la creciente cantidad de datos que se introducen en el sector. DLT, en coordinación con IoT y AI, es una herramienta poderosa para ayudar a administrar y analizar las grandes cantidades de datos complejos para aumentar la eficiencia del sistema.⁶²

A la luz de la relevancia de la digitalización para el sector energético, es importante comprender por qué la industria está evaluando estas nuevas tecnologías como inversiones estratégicas en sus procesos de transformación digital. El principal impulsor identificado se refiere a lograr una mayor eficiencia, siendo seleccionado como uno de los 5 principales beneficios esperados al invertir en nuevas tecnologías por el 75% de los expertos consultados, y como el beneficio más importante de todos en un 22%. Otros beneficios relevantes seleccionados por los encuestados incluyen: aumento de la productividad (71%), acceso a información confiable (71%), ahorro de costos (67%) y mejor seguridad (63%).

Gráfico 4.4 - Principales Beneficios Esperados de Invertir en Nuevas Tecnologías



Alianza Energética, 2020

Las tecnologías digitales a menudo se perciben como herramientas que proporcionan una mayor eficiencia y aumentan la productividad, en ambos casos a través de la automatización, la digitalización de procesos, la reducción de costos y un mejor acceso a los datos. Algunas tecnologías maduras disponibles en el mercado que ofrecen estos beneficios son las soluciones de planificación de recursos empresariales (ERP), la automatización de procesos mediante robótica (RPA) y la computación en la nube, mientras que otras tecnologías emergentes como AI, machine learning, Big Data, robótica, IoT y análisis de datos están demostrando ser de gran valor para que las organizaciones logren estos objetivos también. Sin embargo, Blockchain es una tecnología que está madurando

y que también ha demostrado un alto potencial para ofrecer beneficios tangibles a las organizaciones mediante el uso de contratos inteligentes para la automatización de procesos y el acceso a información confiable.

Un punto de vista interesante compartido por Mosiés Rosado es que la mejor manera de impulsar una iniciativa de Blockchain es agregando valor que antes no existía a un proceso actual, ofreciendo herramientas a los clientes de los que tal vez ni siquiera sabían que podrían beneficiarse. Por lo tanto, el lanzamiento debe centrarse en crear nuevas fuentes de ingresos, en lugar de solo ahorrar costos. Un ejemplo claro sería que los proveedores de energía abran una nueva división para las energías renovables,

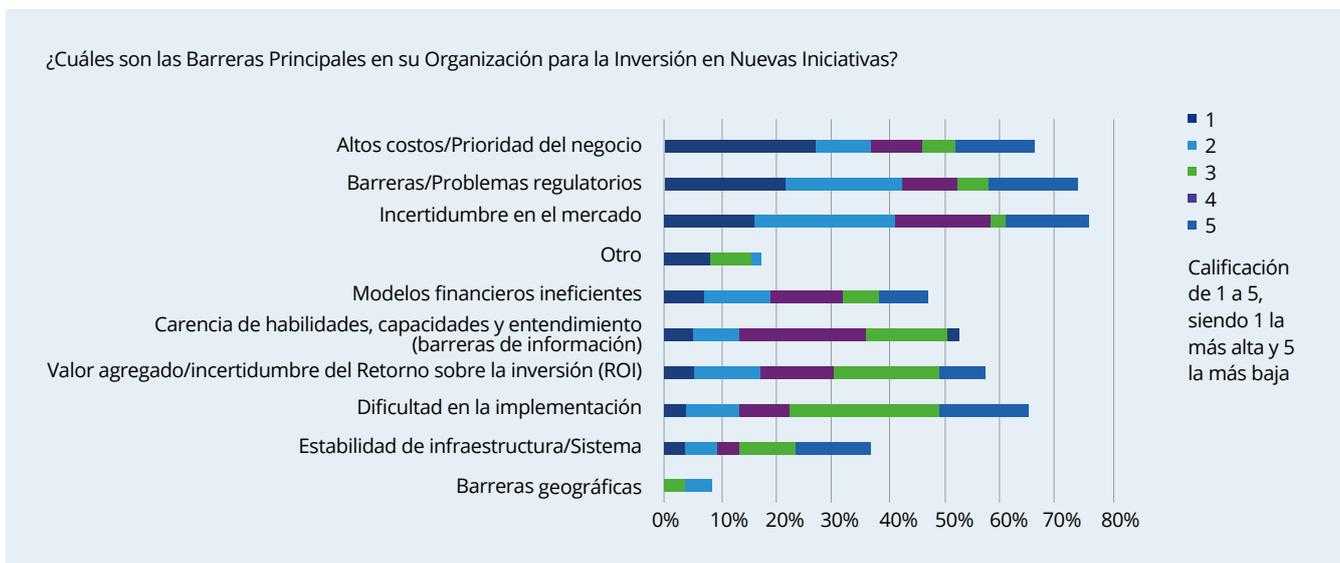
62. IRENA. (2019). IRENA Innovation Landscape 2019. Abu Dabi, UAE. Obtenido de IRENA web page: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf

donde Blockchain podría ayudar a los usuarios a validar que la energía que están comprando proviene de fuentes verdes. Ciertos usuarios pueden estar dispuestos a pagar tarifas superiores por un acceso transparente y la trazabilidad hasta el origen de su consumo de energía.

A pesar de los beneficios ofrecidos por las nuevas tecnologías y la importancia crítica que representa la digitalización para la industria, aún no se ha visto una adopción

masiva en el sector energético. La incertidumbre del mercado representa una de las 5 principales barreras que enfrentan las organizaciones al invertir en nuevas iniciativas, de acuerdo con el 69% de los expertos consultados, seguido por cuestiones regulatorias con el 67%. Sin embargo, ninguno de los dos representa la barrera más crítica, que está relacionada con los altos costos y las prioridades comerciales, lo que lleva al 25% de las respuestas como la barrera principal.

Gráfico 4.5 - Principales Barreras para Invertir en Nuevas Tecnologías



Alianza Energética, 2020

Una perspectiva interesante de Javier Salas es que la falta de modernización de los operadores de sistemas y proveedores de servicios envía señales al mercado por las cuales las nuevas tecnologías no se perciben como una prioridad estratégica para la industria. Más bien, la inversión en tecnologías maduras y probadas que pueden generar ganancias y mitigar riesgos tecnológicos se consideran de mayor importancia. Este punto en específico puede representar una barrera importante para los inversionistas que no tienen certeza de la importancia que representa la adopción de tecnologías digitales para la industria, por lo que pierden prioridad para las inversiones en nuevas iniciativas que involucren tecnologías digitales.

A pesar de estas barreras, actualmente se están evaluando varias tecnologías dentro de las estrategias digitales en todas las organizaciones del sector energético. Mirando específicamente a Blockchain, la perspectiva del mercado muestra una visión optimista, donde el 90% de los expertos la consideran una tecnología relevante para la industria energética y el 86% está de acuerdo en que existen casos de negocios convincentes para implementar una solución basada en Blockchain (39% está totalmente de acuerdo y el 47% está de acuerdo). Además, existe una

sensación positiva hacia las iniciativas de consorcio con más del 90% de las organizaciones considerándolas como una herramienta relevante para el sector, un hallazgo clave dado que las aplicaciones Blockchain causarán el mayor impacto a través de soluciones de toda la industria.

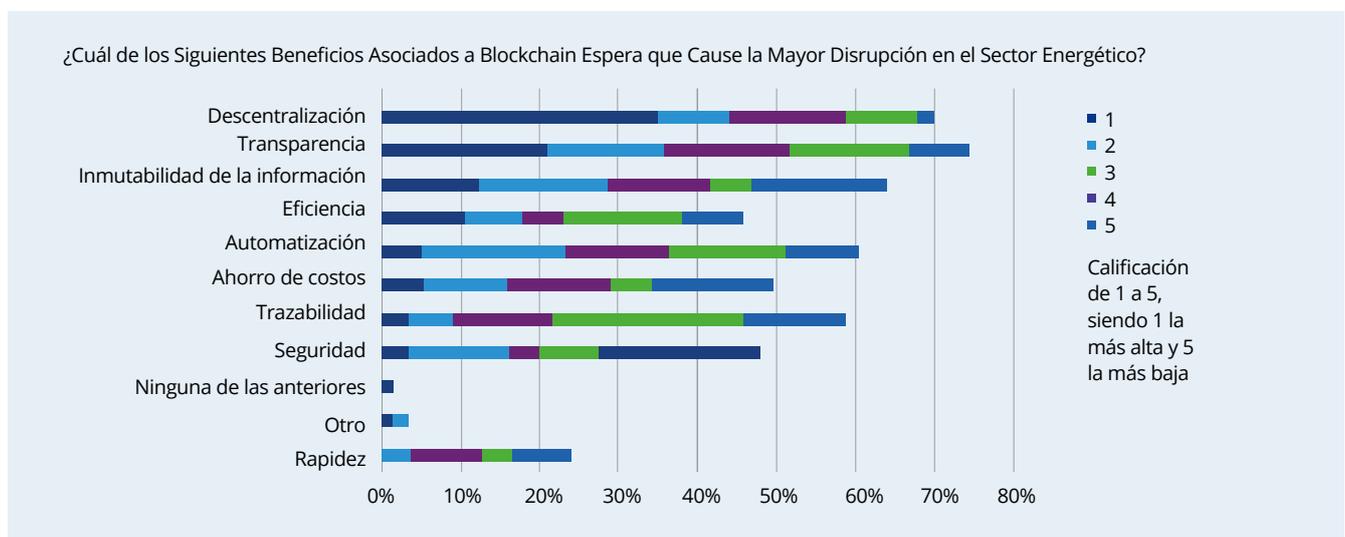
Estos resultados muestran la relevancia de esta tecnología para el sector energético, apoyando el desarrollo de un ecosistema Blockchain en la industria y una mayor exploración de soluciones que aprovechen esta tecnología. Hay varios beneficios vinculados a las tecnologías de registro distribuido que han captado la atención de los líderes de la industria para aprovechar los modelos de negocios basados en Blockchain para abordar los desafíos actuales. También es el caso de que más del 80% considera que el sector perdería una ventaja competitiva si no adoptara la tecnología, posicionando Blockchain como una tecnología estratégica para invertir como parte de estrategias digitales dentro del sector energético. Las organizaciones que ya están transformando sus modelos de negocio a través de nuevas tecnologías tienen una ventaja al posicionarse en el centro de un nuevo ecosistema, en el que pueden influir en el diseño y la adopción de estándares y dar forma a nuevos modelos de colaboración cruzados seguidos por

los demás competidores (Wilfried Pimenta, Director de BD en la Fundación IOTA, comunicación personal, abril de 2020).

Además, los resultados de la consulta mostraron que el 80% de los expertos creen que habrá una disrupción en la industria energética derivada de Blockchain, donde los principales beneficios que se espera que causen son: transparencia, descentralización, inmutabilidad de datos, automatización y trazabilidad (75%, 67 %, 63%,

59% y 57% respectivamente). La descentralización y la transparencia se consideran los dos beneficios más críticos, calificados como los primeros en la lista por el 35% y el 24% de los encuestados. Otro punto de vista, proporcionado por Douglas Miller de Energy Web Foundation, es que Blockchain en sí no actuará como un disruptor; en cambio, es la transición energética la que está disrumpiendo el sector energético, y Blockchain debe verse como un habilitador y acelerador de la disrupción que ya está en marcha.

Gráfico 4.6 - Beneficios Asociados a Blockchain



Alianza Energética, 2020

Como se mencionó en la sección *Principales retos y obstáculos de Blockchain*, uno de los desafíos más críticos para la adopción de Blockchain desde una perspectiva comercial es poder traducir las necesidades de la industria en ideas e iniciativas de calidad que se puedan resolver con esta tecnología. Comprender los beneficios esperados de invertir en nuevas tecnologías y barreras que se presentan al participar en este tipo de iniciativas es solo un primer paso para superar este desafío. Una segunda fase implica un análisis de mercado que incluye investigación, proyectos y soluciones que se estén desarrollando en la industria aprovechando la tecnología Blockchain.

Un proceso de inteligencia de mercado reveló más de 110 proyectos de Blockchain en el sector, variando en sus niveles de desarrollo / madurez y cubriendo etapas desde la investigación hasta las soluciones disponibles comercialmente en el mercado (ver tabla 4.5). Este proceso fue clave para identificar y clasificar los modelos de negocio emergentes basados en Blockchain para la industria, divididos en 4 clasificaciones generales: Trazabilidad y transparencia, Descentralización del mercado, Finanzas y pagos e IoT y dispositivos inteligentes.

Estas categorías se desglosan aún más en subcategorías, y se organizan en función de la funcionalidad subyacente y los objetivos de Blockchain para el proceso a abordar en el modelo de negocio propuesto. Es importante tener en cuenta que ciertos casos de uso pueden caer en más de una categoría, el enfoque implementado enfatiza la funcionalidad principal dentro de un modelo comercial específico para su clasificación. A continuación, se discutirá una explicación más detallada de cada categoría, junto con un análisis de ciertas subcategorías consideradas de alto potencial para el sector por expertos entrevistados.

Trazabilidad & Transparencia

Este modelo de negocio tiene como objetivo ofrecer a los participantes del mercado acceso a información relevante que aumentará la transparencia entre los participantes del ecosistema distribuido y la trazabilidad a través de procesos específicos de la cadena de valor. Las funcionalidades subyacentes para este tipo de casos de uso son características como la inmutabilidad de los eventos registrados en el registro distribuido y la marca de

tiempo de la información detallada para las transacciones registradas. Analizando múltiples proyectos e iniciativas que tienen estos dos elementos como el valor central de

los nuevos modelos de negocio, se identificaron 5 subcategorías para esta área:

Tabla 4.2 - Modelos de Negocio de Trazabilidad & Transparencia

Trazabilidad y Transparencia	
Subcategoría	Descripción General
Certificados de Origen	Permite la verificación de datos con respecto a variables y atributos como salida, eficiencia, emisiones de CO2, procedencia, consumo y otra información relevante y detalles que pueden ser certificados por una red distribuida en lugar de un tercero confiable.
Derechos Digitales	El uso de mecanismos de consenso y criptografía permite a los participantes de una red distribuida crear versiones digitales de ciertos recursos disponibles en el mundo físico. Los contratos digitales, identidades, firmas, valores, bonos y títulos de propiedad son algunos ejemplos de digitalización a través de Blockchain.
Gestión de Datos	El almacenamiento descentralizado de datos registrados en Blockchain con una marca de tiempo que registra información relevante (por ejemplo, partes involucradas, detalles de la transacción, hora exacta, geolocalización, etc.) permite a los participantes monitorear, rastrear y dar transparencia a los datos que se generaron a través de diferentes procesos de la cadena de valor.
Gestión de Activos	Mejora la visibilidad y el monitoreo de los activos físicos a lo largo de toda la cadena de valor, permitiendo a los participantes rastrear y obtener información sobre el estado, mantenimiento, requisitos de servicio, propiedad, registros y su ciclo de vida completo, aumentando así la trazabilidad y el monitoreo.
Monitoreo y Gestión de la Red	Una plataforma Blockchain puede conectar actores del mercado, asociaciones, reguladores y consumidores finales para proporcionar un intercambio distribuido de información relevante. Se desbloquean datos valiosos para mejorar el proceso de toma de decisiones en una red cada vez más compleja, incluido el equilibrio de oferta / demanda, gestión de la congestión, ajustes de tarifas, estabilidad de la red y asignación de recursos distribuidos.

Alianza Energética, 2020

El caso de uso más avanzado dentro de esta categoría, y posiblemente entre todos los demás, es la Certificación de origen. También se conoce como Certificado de Atributo de Energía, dado que el valor central de esta subcategoría es ofrecer a los participantes de la red un método de verificación y validación para rastrear atributos específicos que son relevantes para el mercado, permitiendo la certificación de extremo a extremo. En los certificados verdes, por ejemplo, se registran detalles sobre la producción de energía limpia, incluyendo cuándo, dónde, cómo y por quién se generó. Este tipo de solución puede desbloquear incentivos para invertir, generar y consumir energía limpia al dejar un registro verificable de estos eventos y establecer las bases para crear un mercado secundario donde los certificados se pueden transferir, comprar o vender. Como mencionó Dietrich Korb, una creciente presión para cumplir con los estándares climáticos sostenibles para alcanzar los objetivos establecidos (junto con una red significativamente más compleja)

requiere un mayor grado de confianza y transparencia en cuanto a cómo las organizaciones miden sus logros, haciendo de Blockchain una solución interesante.

La gestión de datos es otro caso de uso de alto impacto para la industria, aunque todavía no ha alcanzado un alto nivel de madurez. La razón principal por la que este tipo de soluciones aún está en fase de desarrollo y experimentación se debe a la infraestructura requerida para implementar una solución a gran escala. Las soluciones de gestión de datos cubren una amplia gama de casos de uso, por ejemplo: datos de transacciones en el sistema, información relevante del mercado, comportamiento de oferta / demanda de la red, registro de instalaciones y generación / consumo de DER. Ciertas aplicaciones requieren menos modernización en infraestructura que otras, lo que las hace candidatos factibles para probar aplicaciones basadas en Blockchain antes de desarrollar soluciones comercialmente.

Descentralización de Mercado

Considerando la descentralización como una de las tres tendencias principales en el sector energético, existen varios modelos de negocio que se centran en la descentralización del mercado. El objetivo clave de esta categoría es permitir que los participantes del mercado

interactúen entre sí mientras se reduce la necesidad de que un tercero actúe como intermediario. Esto es posible gracias a los mecanismos de consenso que usa Blockchain para validar las transacciones entre todas las partes, lo que significa que la confianza se coloca en la red distribuida en lugar de en una institución centralizada. Se identificaron 4 subcategorías para este tipo de soluciones.

Tabla 4.3 - Modelos de Negocio de Mercados Descentralizados

Mercados descentralizados	
Subcategoría	Descripción General
Comercio al por Mayor / OTC	Las interacciones de negocio a negocio y de negocio a consumidor a través de un ecosistema de red distribuido permite a los jugadores del mercado a participar en operaciones de mercado tales como comercio mayorista, consumo de electricidad generada localmente, transacciones regionales, compra/venta de energía renovable excedente y gestión de riesgo en los procesos.
Microred / Red Comunitaria	Las comunidades se organizan entre ellas para instalar una micro red a través de infraestructura de generación distribuida que les permite producir su propia energía, comprar/vender electricidad y entre los vecinos sin la necesidad de un sistema descentralizado. Este tipo de sistemas estimulan la adopción de recursos de energía distribuidos y el consumo de energía renovable producida localmente.
Mercados Descentralizados	Las plataformas basadas en Blockchain habilitan un ecosistema descentralizado que provee un mecanismo confiable y eficiente para ejecutar, verificar y registrar transacciones a través de productos básicos de energía sin el requerimiento de la aprobación de una entidad centralizada de gestión.
Comercio entre Pares	Los hogares actúan como generadores de energía y como consumidores simultáneamente (prosumidores) a través de un mercado de electricidad que habilita generadores de electricidad a pequeña escala a vender su exceso de energía independientemente, sin la necesidad de la participación de un tercero. Esto, en consecuencia, incentiva la inversión en infraestructura de generación distribuida y la competición en el mercado de energías renovables.

Alianza Energética, 2020

La descentralización del mercado a través del uso de plataformas Blockchain actualmente enfrenta desafíos significativos con respecto a los marcos regulatorios y la infraestructura disponible en el sistema. Sin embargo, los casos de uso del comercio de energía al por mayor se han identificado como los más factibles teniendo en cuenta estos dos factores. Las regulaciones en varios países del mundo, incluido México, ya tienen en cuenta el comercio mayorista de energía entre generadores y consumidores calificados; Además, los generadores distribuidos a menudo tienen una infraestructura moderna que facilita la integración con una plataforma Blockchain.

Alternativamente, los casos de uso que involucran el comercio entre pares han generado altas expectativas y promesas en el espacio Blockchain cuando se piensa en

plataformas de descentralización del mercado. De forma similar a las aplicaciones de gestión de datos, las soluciones peer-to-peer todavía están en fase de prueba y piloto en escenarios de baja escala y entornos controlados. Se han desarrollado proyectos relevantes en este espacio en Australia, Alemania y Estados Unidos, sin embargo, no ha habido actividad en el mercado mexicano. Este tipo de caso de uso aún requiere esfuerzos adicionales de múltiples partes interesadas en el sector para ser implementado (por ejemplo, formuladores de políticas, reguladores, generadores calificados, consumidores, etc.). En este sentido, el comercio P2P puede tener un mayor impacto en el mediano a largo plazo debido a los obstáculos causados por la diversidad de reglas y regulaciones por jurisdicción. Los créditos renovables y el comercio mayorista de energía por el otro pueden tener un mayor impacto y potencial para el sector que busca oportunidades a corto plazo.

Finanzas & Pagos

Los modelos de negocio que giran en torno a aspectos financieros dentro de la industria energética representan algunas de las aplicaciones más maduras para Blockchain, dado que la tecnología surgió como una respuesta para resolver desafíos en este espacio. Las características habilitantes, como la capacidad de programación a través de contratos inteligentes y los mecanismos de encriptación para mejorar la seguridad de las transacciones, son la base

de soluciones innovadoras que ofrecen mecanismos alternativos para métodos de pago, plataformas comerciales, mecanismos de financiación, eficiencia contable y automatización de procesos en varios puntos de la cadena de valor de la energía. Este modelo de negocio tiene 4 subcategorías que desbloquean una variedad de casos de uso para la industria.

Tabla 4.3 - Modelos de Negocio de Finanzas & Pagos

Finanzas & Pagos	
Subcategoría	Descripción General
Financiamiento de Proyectos	Plataformas de recaudación de fondos que utilizan mecanismos de tokenización que ofrecen a los inversionistas un método de financiamiento para los proyectos de pequeña escala tales como energías renovables e infraestructura de generación distribuida. Blockchain ofrece una alternativa con menor fricción y que es accesible a un fondo de capital más amplio y económico, mientras mejora la transparencia y liquidez de pagos durante las fases de financiamiento.
Pagos y Contratos Inteligentes	Los contratos inteligentes pueden ser programados para automatizar pagos a través de la cadena de valor energética. Los procesos son optimizados, impulsando la eficiencia mientras deja un registro distribuido y auditable a través de todos los participantes de la red y reduciendo costos administrativos que involucran pagos y monitoreo.
Criptomonedas, Tokens y Stablecoins	Las criptomonedas ofrecen un método de pago alternativo para los servicios de energía, mientras que los tokens permiten compartir activos en proyectos comunitarios (por ejemplo, infraestructura de energía renovable y sistemas de almacenamiento) y la tokenización de la producción de energía limpia. Además, los Stablecoins vinculados al valor de los CEL, los bonos y otros productos energéticos se pueden comercializar en un mercado secundario.
Facturación y Liquidaciones	El integrar medidores inteligentes con contratos inteligentes mediante un Blockchain habilita una medición autónoma, facturación y compensaciones de los servicios de energía. Esta funcionalidad introduce una cohesión sin precedentes para almacenar y registrar procesos internos y habilitar transparencia para los participantes.

Alianza Energética, 2020

Los mecanismos alternos de recaudación de fondos ofrecidos por esta tecnología fueron uno de los principales impulsores de la alta expectativa de Blockchain. Las plataformas de fondeo colectivo basadas en tokenización se pueden usar para financiar proyectos relacionados con la energía al ofrecer tokens de servicios públicos, seguridad, capital o deuda al público, eliminando al intermediario que gestiona la plataforma en los crowdfunding populares hoy, por lo tanto, reduciendo los costos administrativos. La tecnología ha demostrado ser una herramienta eficaz en este aspecto, pero las crecientes preocupaciones del mercado han levantado barreras significativas para este modelo de negocio específico. Algunos elementos clave a tener en cuenta son: modelo

comercial y de gobierno, viabilidad tecnológica, aspectos legales, cumplimiento normativo, gestión y controles de riesgos, costos de configuración, obligaciones fiscales, informes contables y diseño de modelos operativos. Algunas regulaciones locales iniciales a tener en cuenta son las emitidas por valores, AML / CTF, privacidad de datos, autoridades fiscales y contables.

Otra aplicación de Blockchain que ha sido explorada e implementada en múltiples industrias (liderada por el sector financiero) está relacionada con la facturación y las liquidaciones. La tecnología de contabilidad distribuida subyacente brinda a los participantes autorizados un acceso autorizado a un registro sincronizado

de transacciones, lo que reduce los errores humanos y optimiza los procesos de liquidación. La viabilidad de un caso de uso dentro de esta subcategoría dependerá en gran medida del proceso específico de la cadena de valor en el que se implementará, ya que requerirá una fuente de datos que pueda integrarse con la plataforma Blockchain propuesta.

También existen aplicaciones y plataformas maduras para casos de uso que involucran pagos y contratos inteligentes a través del uso de Blockchains públicos. Este tipo de modelos de negocio le permiten a organizaciones obtener acceso a nuevos mercados, habilitar nuevos canales digitales y reducir ciertas barreras de entrada o fricciones a las que se enfrentan pequeñas empresas y usuarios finales. Christine To, directora de Stellar Development Foundation, ha enfatizado los casos de uso potenciales dentro de esta categoría en los que se pueden desbloquear nuevos modelos de ingresos a través de nuevos esquemas de pago, destacando los micropagos, paquetes de prepaio y tarifas de suscripción.

IoT & Dispositivos Inteligentes

Como se mencionó en secciones anteriores de este reporte, Blockchain es una herramienta que tiene más probabilidades de alcanzar su máximo potencial cuando se implementa junto con otras tecnologías, donde IoT y dispositivos inteligentes representan los complementos más relevantes para casos de uso en el sector energético. Se pueden optimizar diferentes tipos de hardware disponible en el mercado al agregar una capa de Blockchain a su funcionalidad principal, como proporcionar identidades seudónimas que potenciarán las interacciones y los mecanismos de coordinación dentro de un ecosistema o para registrar datos relevantes en un registro distribuido que se puede aprovechar mediante el uso de contratos inteligentes y otras tecnologías como D&A, AI y Big Data. Las cuatro subcategorías correspondientes a esta clasificación se abordan a continuación.

Tabla 4.4 - Modelos de Negocio de IoT & Dispositivos Inteligentes

IoT & Dispositivos inteligentes	
Subcategoría	Descripción General
IoT & Dispositivos Inteligentes	IoT y los dispositivos inteligentes generan continuamente información valiosa que se puede registrar en Blockchain. Los contratos inteligentes se pueden programar para detonar eventos basados en datos capturados y condiciones predefinidas, como transacciones entre dispositivos, tokenización de crédito, pagos automatizados, gestión de activos y decisiones de red.
Casa y Edificios Inteligentes	Blockchain podría desempeñar un papel importante en el registro de datos, seguridad, integridad, monitoreo y control, sirviendo como una herramienta para capturar información de entrada primaria para los procesos de toma de decisiones. Los contratos inteligentes pueden servir como un canal de comunicación entre IoT y dispositivos inteligentes para hacer cumplir las reglas y automatizar ciertas acciones dentro de casa y edificios inteligentes.
Almacenamiento de Energía/Baterías	Las baterías estacionarias y las instalaciones de almacenamiento de energía se pueden utilizar para proporcionar estabilidad y flexibilidad a la red. Blockchain ofrece una herramienta para explotar mejor este tipo de DER a través de mecanismos de coordinación en un sistema descentralizado cada vez más complejo con un número creciente de participantes y dispositivos que interactúan en el mercado. Las oportunidades visibles para el almacenamiento de energía incluyen la respuesta de la demanda para contrarrestar las horas de baja generación y consumo máximo, incentivos de inversión para individuos, cargas / descargas automatizadas de la red e integración con otros DER.
Vehículos Eléctricos y E-Mobility	Un ecosistema de red distribuido permite la interacción entre los usuarios de movilidad eléctrica y VE al asignar identidades a los vehículos y proporcionar una integración para la infraestructura de carga. Una plataforma Blockchain puede coordinar la carga y descarga del vehículo, la fijación dinámica de precios y la gestión de las ubicaciones de los puntos de carga y su saturación. Además, los contratos inteligentes pueden facilitar pagos y liquidaciones, impulsar la competitividad de los precios e incentivar a los conductores a través de mecanismos basados en tokens.

IoT y los dispositivos inteligentes no solo deben percibirse como un caso de uso específico limitado a esta categoría, sino más bien como una herramienta fundamental que permite múltiples modelos de negocios basados en Blockchain al actuar como una fuente primaria de información que luego se registra de forma distribuida. En este sentido, es probable que las soluciones en otras categorías aprovechen ciertas funcionalidades de esta subcategoría. Sin embargo, hay casos de uso en los que el objetivo principal gira en torno a IoT y dispositivos inteligentes; Es importante identificar qué papel juegan estos dispositivos dentro de un modelo de negocio propuesto al clasificar un caso de uso. Además, la tecnología IoT también se percibe actualmente como una tecnología en maduración, lo que puede suponer un doble desafío al diseñar un modelo de negocio que busque la integración con Blockchain.

Se espera que los modelos de negocio que se centran en sistemas de almacenamiento de energía y baterías tengan un alto impacto para la industria de acuerdo con la evolución de estas tecnologías. Blockchain podría actuar como un mecanismo de coordinación para integrar estos recursos en la red al proporcionar información transparente y confiable a los participantes de la red, lo que mejorará los procesos de toma de decisiones que involucran energía almacenada. Las aplicaciones interesantes surgen cuando se piensa en una plataforma Blockchain que conecta la información de las baterías de los vehículos eléctricos con la red para incorporarlas como DER adicionales que se pueden explotar. Sin embargo, la tecnología de almacenamiento de energía aún tiene que desarrollarse y ser rentable para ser adoptada masivamente por el mercado,

hasta que esto suceda, Blockchain no parece ofrecer un argumento comercial convincente para desarrollar una solución.

4.5 Aplicaciones de Blockchain Existentes en el Sector Energético

Durante el proceso de análisis de mercado para el uso de la tecnología Blockchain en el sector energético a nivel internacional, se identificaron varios proyectos e iniciativas que aprovechan esta tecnología. Los niveles de madurez de los proyectos varían desde investigación y desarrollo hasta soluciones disponibles comercialmente. Es posible que algunas de las iniciativas mencionadas ya no estén activas, esto puede deberse a la finalización de la PoC o de las fases de prueba inicialmente propuestas o a la lucha por la supervivencia de los pequeños jugadores en el mercado, sin embargo, se incluyen como casos de uso relevantes a considerar al evaluar las aplicaciones para la industria.

Además, se identificaron varios proyectos de organizaciones privadas multinacionales e instituciones públicas dentro de sus estrategias digitales y de innovación. Sin embargo, la información relacionada con estas iniciativas aún no está disponible públicamente, por lo que es de suma importancia mantenerse alerta para las comunicaciones oficiales y comunicados de prensa de gobiernos y la iniciativa privada con respecto a PoCs, pilotos y fases de prueba que estén disponibles para el público en general. La siguiente tabla ofrece algunos de los casos de uso e iniciativas estudiadas a lo largo del desarrollo del informe.

Tabla 4.5 - Proyectos e Iniciativas Blockchain en el Sector Energético

Proyectos e iniciativas de Blockchain en el Sector Energético				
#	Empresa	País	Categoría	Caso de uso
1	Bankymoon	Sudáfrica	Finanzas y Pagos	A través de medidores inteligentes, los usuarios pueden pagar sus facturas de electricidad con liquidaciones instantáneas, también permite a cualquiera donar directamente a un medidor de su elección (escuelas, hospitales, refugios, etc.).
2	BAS Nederland	Holanda	Finanzas y Pagos	BAS se convirtió en la primera compañía energética en aceptar Bitcoin como método de pago.
3	Climate Chain Coalition	Canadá	Finanzas y Pagos	Una organización que promueve habilidades y capacidades relacionadas con Blockchain para ayudar a movilizar fondos para soluciones climáticas.
4	Climate Coin	Suiza	Finanzas y Pagos	Criptomoneda basada en la cadena de bloques Ethereum. Esta cripto se utiliza para recaudar fondos para proyectos ambientales.
5	Elegant	Bélgica	Finanzas y Pagos	Elegant es una empresa de suministro de energía verde con sede en Bélgica que ha comenzado a aceptar bitcoin como método de pago.

Proyectos e iniciativas de Blockchain en el sector energético				
#	Empresa	País	Categoría	Caso de uso
6	Global Grid	México	Finanzas y Pagos	Una plataforma que tiene como objetivo ayudar a los grandes desarrolladores de proyectos fotovoltaicos en México a recaudar capital para la infraestructura y requerimientos de ejecución.
7	Grid +	EE.UU.	Finanzas y Pagos	La iniciativa Grid + Energy busca proporcionar a los clientes finales acceso a la electricidad a precios mayoristas, bajando los precios e incentivando la adopción de recursos energéticamente eficientes.
8	ImpactPPA	EE.UU.	Finanzas y Pagos	Una plataforma de servicios descentralizada que permite a los consumidores de energía "pagar por adelantado" por la electricidad de un dispositivo móvil.
9	Marubeni	Japón	Finanzas y Pagos	En asociación con WePower, Marubeni está accediendo a productores renovables para comprarles su energía directamente.
10	Prosume	Italia	Finanzas y Pagos	Una plataforma Blockchain que permite a los usuarios intercambiar energía de diferentes fuentes a través de su sistema de monitoreo descentralizado y autorregulado.
11	R3	EE.UU.	Finanzas y Pagos	Ofrece soluciones que permiten a las empresas de múltiples industrias realizar transacciones directamente y reducir los costos de transacción y mantenimiento de registros y agilizar las operaciones comerciales.
12	Solar Coin	EE.UU.	Finanzas y Pagos	Busca incentivar a los generadores de electricidad solar recompensándolos con criptomonedas por cada MWh producido.
13	Sun Exchange	Sudáfrica	Finanzas y Pagos	Una plataforma de arrendamiento P2P que permite a los usuarios de cualquier parte del mundo poseer celdas productoras de energía solar mediante tokenización.
14	The Energy Blockchain exchange	Canadá	Finanzas y Pagos	Guild One, en colaboración con R3, creó EBX, una plataforma para transacciones de energía como regalías, empresas conjuntas, AFE y derechos de uso de carreteras.
15	IOTA Foundation	Alemania	IoT y dispositivos inteligentes	Permite y apoya el desarrollo de ecosistemas de energía inteligente a través de la infraestructura de IoT en trazabilidad, carga inteligente, micropagos, movilidad inteligente, flexibilidad P2P, edificios inteligentes y hogares inteligentes.
16	MyBit	Suiza	IoT y dispositivos inteligentes	MyBit creó un mercado para que las personas inviertan en IoT y dispositivos inteligentes, permitiéndoles generar ingresos a través de estas máquinas y dispositivos.
17	Pylon Network	España	IoT y dispositivos inteligentes	Proporciona acceso a una base de datos de energía neutral donde los agentes del mercado y otros agentes pueden interactuar para ofrecer servicios de valor agregado en el sistema.
18	Share & Charge	Suiza	IoT y dispositivos inteligentes	Una red de carga abierta (OCN) que sirve como un mercado B2B para la comunidad de carga VE que permite a los usuarios conectarse entre sí.
19	Slock.it	Alemania	IoT y dispositivos inteligentes	Permite que los dispositivos accedan a datos en Blockchain para interactuar entre sí y con otros participantes de la red para ofrecer control de datos y soporte de decisiones para la infraestructura de IoT a gran escala.
20	Tennet	Holanda	IoT y dispositivos inteligentes	Proporciona un conjunto interconectado de vehículos eléctricos y estaciones de carga que pueden coordinar interacciones a través de una plataforma Blockchain.

Proyectos e iniciativas de Blockchain en el sector energético				
#	Empresa	País	Categoría	Caso de uso
21	Austrian Power Grid (APG)	Austria	Descentralización de mercados	La red eléctrica de Austria and Energy Web Foundation lanzó un proceso de PoC para soluciones de flexibilidad de red que permitirán a los DER a pequeña escala participar en la regulación de frecuencia.
22	Brooklyn Microgrid	EE.UU.	Descentralización de mercados	Un PoC de un mercado entre vecinos implementado por Siemens y LO3 que permite a los residentes vender su exceso de energía solar a otros residentes que prefieren comprar de fuentes renovables.
23	Drift	EE.UU.	Descentralización de mercados	Su tecnología combina cada unidad de energía verde producida con el uso de energía en tiempo real para proporcionar la trazabilidad de su origen.
24	Energy Web Foundation	Alemania	Descentralización de mercados	Proporciona herramientas de código abierto para el desarrollo de DApp para acelerar la innovación y las pruebas en casos de uso de trazabilidad energética y flexibilidad de la red, al tiempo que reduce los esfuerzos necesarios para implementar una solución comercial real de Blockchain.
25	HashGraph	EE.UU.	Descentralización de mercados	Crea una plataforma de gestión de microrredes y comercio de energía entre pares.
26	Lition	Alemania	Descentralización de mercados	Desarrollo de una Blockchain público-privada escalable que impulsa el Lition Energy Exchange para el comercio de energía abierto y directo.
27	LO3 Energy (Exergy)	EE.UU.	Descentralización de mercados	LO3 creó la plataforma Pando, que ofrece una forma sencilla de coordinar a los consumidores para comprar y vender energía local y optimizar la red al desbloquear un mercado energético local.
28	OLI Systems GmgH	Alemania	Descentralización de mercados	Implementación de diversos proyectos piloto que permiten a los consumidores y prosumidores con generación descentralizada convertirse en jugadores activos de la red.
29	Ponton GmbH	Alemania	Descentralización de mercados	Ponton ha desarrollado varios proyectos relacionados con Blockchain, destacando una plataforma comercial para certificados de energía, gas y CO2.
30	Power Ledger	Australia	Descentralización de mercados	Desarrolló una plataforma para hacer que los mercados de energía renovable sean más eficientes al permitir al usuario realizar transacciones de energía, comerciar con productos ambientales e invertir en energías renovables.
31	Siemens Energy	España	Descentralización de mercados	Siemens se ha involucrado en múltiples iniciativas de Blockchain, destacando una plataforma para productores y consumidores en España para realizar transacciones de energía.
32	Sonnen	EE.UU.	Descentralización de mercados	Lanzó un proyecto piloto para mostrar cómo los sistemas descentralizados de almacenamiento doméstico pueden conectarse a la red, utilizando la tecnología Blockchain para estabilizar la red eléctrica.
33	WePower	Lituania	Descentralización de mercados	Impulsa un mercado que conecta a las empresas con los generadores para comprar energía verde a precios competitivos con total transparencia.
34	Blockchain for climate foundation	Canadá	Descentralización de mercados	Desarrollo de una plataforma para mejorar la autenticidad, validación y comercialización de créditos de carbono en un mercado descentralizado.

Proyectos e iniciativas de Blockchain en el sector energético				
#	Empresa	País	Categoría	Caso de uso
35	Carbonex	Francia	Descentralización de mercados	Tokenización de créditos de carbono utilizando la tecnología Blockchain abierta y una plataforma de créditos de carbono.
36	Conjoule	EE.UU.	Descentralización de mercados	Desarrollo de un mercado energético descentralizado donde los participantes pueden realizar transacciones de energía, capacidad y flexibilidad bajo los modelos P2P.
37	Greeneum	Israel	Descentralización de mercados	Desarrollo de un mercado energético descentralizado donde los participantes pueden realizar transacciones de energía, capacidad y flexibilidad bajo los modelos P2P.
38	New Era Energy	Reino Unido	Descentralización de mercados	Una plataforma de comercio y medición de carbono que permite a la red monitorear los niveles de emisión y comprar compensaciones de carbono.
39	CarbonX	Canadá	Trazabilidad y transparencia	Creación de tokens de carbono en una Blockchain privada para validar la procedencia y garantizar la seguridad y la transparencia en todas las transacciones.
40	Cinzel	México	Trazabilidad y transparencia	Lumit ha desarrollado Cinzel, una plataforma para proporcionar prueba de propiedad de activos digitales a través de la tecnología Blockchain que se puede utilizar con fines de certificación.
41	Emmi	Australia	Trazabilidad y transparencia	Ofrece una plataforma que ofrece trazabilidad, seguridad y transparencia en las reducciones de emisiones de carbono al tiempo que vincula el rendimiento con el riesgo crediticio y permite una rentabilidad financiera más sólida.
42	Energy Blockchain Labs	China	Trazabilidad y transparencia	Una plataforma Blockchain basada en la gestión de activos ecológicos que permite a los usuarios administrar créditos de carbono y permitir la emisión de CEL.
43	Flexi DAO	España	Trazabilidad y transparencia	Ofrece una plataforma de software para que los minoristas de energía utilicen la tecnología Blockchain como un medio para proporcionar herramientas de gestión de datos de energía.
44	Grid Singularity	Alemania	Trazabilidad y transparencia	Un agente de gestión de la red que ofrece una plataforma de código abierto para construir intercambios de energía, permitiendo que los mercados locales que se interconectan formen una red transaccional.
45	Mercados eléctricos	El Salvador	Trazabilidad y transparencia	Desarrolló una plataforma de mercado digital en colaboración con Energy Web para la generación verificada de energías renovables en los mercados centroamericanos de I-REC.
46	Pacific, Gas & Electric Company	EE.UU.	Trazabilidad y transparencia	Participó en actividades de prueba de la tecnología Blockchain para mejorar la participación del cliente y la eficiencia de la red.
47	Phineal	Chile	Trazabilidad y transparencia	Lanzó un piloto para la trazabilidad de la energía solar en Chile que mejora la transparencia durante el monitoreo de las emisiones reportadas de gases de efecto invernadero y proporciona registros para el mercado nacional de carbono.
48	Poseidon Foundation	Singapur	Trazabilidad y transparencia	Poseidon reunió la tecnología Blockchain y la inteligencia artificial para permitir que las organizaciones y los clientes analicen rápidamente sus datos de huella de carbono.
49	Swytch	EE.UU.	Trazabilidad y transparencia	La plataforma Swytch automatiza las transacciones del proceso de creación de CEL, depositando los certificados en un registro permanente e inmutable.
50	Veridium Labs	Hong Kong	Trazabilidad y transparencia	Una iniciativa de colaboración que desarrolló una plataforma para automatizar la contabilidad del impacto ambiental y crear un mercado para activos ambientales digitalizados.

Se proporcionará un análisis más profundo para un número selecto de proyectos que muestran un alto potencial para las soluciones de Blockchain en el sector energético. Se dio prioridad a los proyectos con fuerte presencia internacional y alcance global, así como a las soluciones que se están desarrollando en el mercado latinoamericano para mostrar oportunidades a corto plazo para México.

Casos de Uso Blockchain a Nivel Internacional

Energy Web Foundation



energy web

Energy Web es una organización global sin fines de lucro que acelera un sistema de electricidad centrado en el cliente y bajo en carbono al liberar el potencial de Blockchain y las tecnologías descentralizadas. Energy Web Foundation está implementando el sistema operativo descentralizado Energy Web (EW-DOS), un entorno de código abierto donde los participantes del mercado pueden construir, probar y desplegar soluciones de nivel empresarial, como clientes, operadores de redes, proveedores de servicios y minoristas. Un componente importante de EW-DOS es Energy Web Chain, una plataforma pública de Blockchain gobernada por los participantes del mercado para garantizar el cumplimiento de los estándares de la industria. Actualmente hay dos kits de herramientas de desarrollo de software (SDK) disponibles para acelerar el despliegue de soluciones basadas en Blockchain en la transición energética: trazabilidad y seguimiento de



energía renovable (EW Origin) e integración de Recursos de energía distribuida (DER) en la red (EW Flex).⁶³

Un claro ejemplo de cómo EWF está acelerando las soluciones descentralizadas en el sector energético es a través de una colaboración con TEO (The Energy Origin), una start-up francesa incubada dentro de la empresa multinacional de electricidad Engie. TEO desarrolló una aplicación descentralizada (dApp) en la cadena EW que ofrece una mejor trazabilidad y transparencia de la energía verde en la red mediante la emisión de certificados de atributos de energía en un ecosistema confiable y descentralizado.⁶⁴ Además de esta funcionalidad, permite que los generadores renovables y los compradores corporativos satisfagan sus requisitos de oferta y demanda de una manera más eficiente al elegir sus fuentes de energía renovable y ubicación geográfica para incentivar el consumo local.

Además, EWF está trabajando con varios miembros de EWF en América Latina para desarrollar plataformas digitales de adquisición de energía renovable utilizando EW Origin que promueve el Estándar Internacional de Certificado de Energía Renovable (I-REC), incluidos Mercados Eléctricos en El Salvador y Fohat en Brasil. Estas plataformas están, respectivamente, en fases piloto y de desarrollo inicial para respaldar las transacciones comerciales I-REC que ayudan a los compradores corporativos a satisfacer sus necesidades de prueba de impacto.

Siemens Energy

SIEMENS
ENERGY

La innovación y la transformación digital han sido un elemento estratégico clave para Siemens Energy, liderando las principales tendencias en el sector energético hoy representadas por las 3Ds. Siemens ha optado por un enfoque holístico hacia la adopción de Blockchain, que considera la integración de nuevas tecnologías, permitiendo aplicaciones y modelos de negocio innovadores. Emma Díaz Ruiz, Especialista en digitalización en Siemens Energy, ha enfatizado cómo una implementación exitosa de Blockchain se basa en mezclar tres ingredientes clave correctamente: 3 partes representadas por el desarrollo de una infraestructura digital para soportar nuevas tecnologías, 2 partes corresponden a la construcción de un ecosistema para soluciones digitales y, por último, 1 parte para la solución Blockchain en sí, que no puede sobrevivir sin los otros componentes.

⁶³. Energy Web. (2019). EW-DOS: The Energy Web Decentralized Operating System An Open-Source Technology Stack to Accelerate the Energy Transition. Berlín, Alemania. Obtenido de Energy Web Sitio web <https://www.energyweb.org/wp-content/uploads/2019/12/EnergyWeb-EWDOS-VisionPurpose-vFinal-20200309.pdf>

⁶⁴. Energy Web. (2019). Blockchain: TEO (The Energy Origin) is the first application to migrate onto the Energy Web Chain. Zug, Suiza. Obtenido de Energy Web Sitio web: <https://www.energyweb.org/2019/09/19/blockchain-teo-the-energy-origin-is-the-first-application-to-migrate-onto-the-energy-web-chain/>

Uno de los proyectos más relevantes desarrollados por Siemens, en colaboración con LO3, fue la creación de una red digital llamada Brooklyn Microgrid. Esta iniciativa tenía como objetivo probar la viabilidad de una plataforma Blockchain que permita a una comunidad de vecinos producir, consumir y comprar energía solar en una plataforma de comercio entre pares. Aunque el piloto terminó, su propuesta principal era conectar a las personas en uno de los barrios de Nueva York para vender su exceso de energía solar y proporcionar más opciones de suministro de energía, incentivando así el consumo de energía renovable y local.

Asimismo, Siemens también ha desarrollado la plataforma de comercio de energía en Blockchain e-ing3ni@ en España, donde los usuarios pueden comprar y vender energía verde. Esta red tiene el objetivo de conectar a los generadores y consumidores de energía en un mercado descentralizado con el fin de empoderar a los clientes finales en el mercado energético dándoles acceso a una gama más amplia de opciones de compra, dándoles la capacidad de elegir el tipo de energía que consumen. La plataforma resuelve los problemas de transparencia y trazabilidad de la energía ofrecida en el mercado mediante la verificación y validación de la fuente de generación, aumentando así la confianza de los clientes. Asimismo, permite a los agentes del mercado, como los generadores, los consumidores y los minoristas, gestionar sus datos con mayor eficiencia, acceder a los reportes para conocer los resultados de la operación y facilita la integración de los sistemas de planificación de recursos empresariales para los pagos y las liquidaciones.⁶⁵

Corda



La plataforma de Blockchain de código abierto Corda de R3 permite a las empresas desarrollar soluciones bajo un estricto modelo de privacidad para participar en transacciones seguras. Las compañías de energía aprovechan la tecnología de R3 para resolver desafíos importantes en la industria, como la baja confianza entre las contrapartes, las prácticas de documentación manual y la baja trazabilidad de los activos.⁶⁶ Algunas soluciones que se están explorando en Corda incluyen la verificación de identidad para cumplir con los requisitos y permisos de capacitación, el seguimiento de los certificados de energía renovable, la prueba de propiedad de los recursos energéticos y la digitalización de los mercados de comercialización de productos básicos.



Un ejemplo es la plataforma Energy Blockchain Exchange (EBX) para transacciones de energía desarrollada por Guild One en colaboración con R3. Está diseñado para ofrecer una plataforma segura y automatizada para realizar transacciones de energía complejas de manera segura y rápida, dejando un fuerte rastro de auditoría. Los actores de la industria pueden compartir de manera segura contratos inteligentes, optimizar las liquidaciones de pagos y garantizar los derechos de ingresos, abriendo paso a múltiples modelos de negocios innovadores para la industria.⁶⁷

IOTA



La Fundación IOTA es una fundación sin fines de lucro (“Gemeinnützige Stiftung”) incorporada y registrada en Alemania. Busca apoyar el desarrollo y la estandarización de nuevas tecnologías de registro distribuido (DLT), incluido el IOTA Tangle, un tipo de DLT específicamente diseñado para el entorno de Internet de las cosas (IoT). Es un protocolo de código abierto que facilita las nuevas interacciones de máquina a máquina (M2M), incluida la transferencia segura de datos, micropagos en tiempo real sin costo y la recopilación y difusión de datos basados en sensores y otros tipos de “oráculos”. A partir de junio de 2020, la Fundación IOTA consta de un equipo global de más de 110 personas distribuidas en 23 países.

La red, que está atravesando una etapa de creciente complejidad, requiere una plataforma segura y escalable para coordinar los dispositivos conectados a la red. Por lo tanto, IOTA ha establecido la energía inteligente como una de sus principales verticales, colaborando con su ecosis-

65. Siemens. (2019). e-ing3ni@ Platform. Madrid, España. Obtenido de Siemens Sitio web: <https://new.siemens.com/global/en/company/topic-areas/energy-transition/e-ingenia.html>

66. R3. (2019). Customers Energy. Nueva York, EUA. Obtenido de R3 Sitio web: <https://www.r3.com/customers/energy/>

67. GuildOne. (2019). ConTracks: GuildOne's Smart Contract Engine. Calgary, Canadá. Obtenido de Guildone Sitio web: <https://guild1.co/contracks-smart-contract-engine-on-blockchain/>

tema asociado para desarrollar casos de uso tales como, monitoreo seguro de datos en tiempo real de recursos de energía inteligente, trazabilidad de atributos de energía (local, sostenible) y mercados REC / GoO, micropagos M2M para activos energéticos inteligentes, carga Plug & Charge y Green Smart, mercado energético de flexibilidad P2P e islas de energía.⁶⁸

Un ejemplo destacado es el + CityxChange (Positive City Exchange), un proyecto de ciudad inteligente y distrito de energía positiva que ha recibido fondos del programa de investigación e innovación Horizon 2020 de la Unión Europea. La Universidad de Ciencia y Tecnología de Noruega (NTNU) es la anfitriona y lidera el consorcio + CityxChange junto con Lighthouse Trondheim Kommune y el Condado de Limerick en Irlanda. Otros 29 socios incluyen TSO local, operador de calefacción urbana, bancos de pruebas de la ciudad, operadores inmobiliarios, empresa de alquiler de vehículos eléctricos y soluciones de carga inteligente. El proyecto desarrolla, prueba y facilita la adopción de tecnologías innovadoras para crear distritos energéticos autosustentable. La tecnología IOTA se está utilizando como una capa de integridad de datos y micropagos M2M para el comercio local de energía P2P y un modelo de mercado flexible en tiempo real. También permite el desarrollo de servicios digitales innovadores, como la movilidad electrónica sin interrupciones como servicio (emaas) para ayudar a los ciudadanos a identificar la opción de transporte más eficiente según sus necesidades.⁶⁹

WePower



La red WePower opera en el mercado de energía mayorista europeo y australiano al ofrecer PPA virtuales a los jugadores del mercado integrados a la plataforma, conectando compañías directamente con generadores de energía verde que ofrecen tarifas competitivas con total transparencia. Actualmente está disponible para grandes usuarios de energía, como minoristas de segundo nivel y grandes clientes corporativos, pero también puede servir como un mercado secundario para clientes corporativos más pequeños. La plataforma permite a los minoristas obtener un PPA completo (o por partes) en menos tiempo y con mejores precios a través de un proceso más receptivo para el financiamiento de proyectos, lo que hace que los proyectos sean mucho más rápidos y eficientes. Todos los PPA ejecutados en la plataforma se ajustan para liquidarse de acuerdo con el mercado correspondiente,

donde los riesgos financieros también se convierten en un factor significativamente relevante.⁷⁰ Nikolaj Martyniuk, CEO y fundador de WePower, describe esta solución digital como una convergencia entre la tecnología Blockchain y los aspectos legales involucrados en este tipo de interacciones contractuales.

Emmi



Una startup australiana que aprovecha la tecnología Blockchain para crear una plataforma descentralizada para un mercado de carbono. Su objetivo principal es abordar los problemas estructurales y de riesgo que actualmente representan un desafío para obtener flujos de capital hacia soluciones climáticas. Michael Lebbon explica que actualmente hay más de \$10 billones de dólares de riesgos climáticos sin precio en los balances mundiales, por lo que Emmi ofrece al sector financiero una red de calificación de carbono con el fin de ayudar a la descarbonización mediante la identificación, cuantificación y fijación de precios de los riesgos relacionados con el clima a través de un mecanismo llamado Emmi Score. La plataforma crea una acumulación de datos de carbonización en la que los participantes pueden confiar para evaluar las variables de riesgo climático según el desempeño de una organización relacionada con sus objetivos de sostenibilidad, por lo que las organizaciones pueden obtener mejores opciones de financiamiento como recompensa por la descarbonización, mientras que las instituciones financieras pueden reducir el costo de capital al identificar correctamente los riesgos relevantes en términos de sustentabilidad.⁷¹

Phineal



Es una startup chilena que aprovecha la tecnología Blockchain junto con la inteligencia artificial para desarrollar soluciones aplicadas al sistema energético para abordar el cambio climático. Han publicado varios artículos que investigan casos de uso de tecnología dentro de la industria y desarrollaron tres proyectos de Blockchain para lograr sus objetivos. El primero de ellos es Central, especializado en la construcción de sistemas fotovoltaicos aislados que operan bajo esquemas de generación

68. IOTA. (2019). Opening Data For Smarter Communities. Berlin, Alemania. Obtenido de IOTA Sitio web: <https://www.iota.org/solutions/smart-city>

69. Main, D. (2019). Developers community update: IOTA & +CityxChange. Berlin, Alemania Obtenido de IOTA Sitio web: <https://blog.iota.org/iota-cityxchange-community-update-85f43894bcca>

70. WePower. (2017). The easiest way to buy green energy directly from producers and reach your energy sustainability goals. Vilna, Lituania. Obtenido de WePower Sitio web: <https://www.wepower.com/>

71. Emmi. (2018). The greatest source of systemic risk to global capital markets is climate change. Melbourne, Australia. Obtenido de Emmi Sitio web: emmi.io

distribuida. La segunda iniciativa es la plataforma Solar Robotics que integra sistemas de fabricación avanzados para almacenamiento de energía y equipos de movilidad eléctrica para proporcionar un mecanismo eficiente de gestión de energía. Por último, PhiNet, una plataforma de información conectada a una red de estaciones de medición para proporcionar servicios a la industria de la energía solar.⁷²

Lumit



Esta startup mexicana se especializa en tecnología Blockchain a través de la educación, consultoría y desarrollo de soluciones para organizaciones privadas e instituciones gubernamentales. Su solución en la nube basada en Blockchain permite una digitalización óptima de cualquier tipo de contrato o documento que se pueda firmar con un cumplimiento legal completo. Esto se logra al aprovechar la firma criptográfica electrónica disponible para todos los ciudadanos mexicanos, o mediante una firma habilitada por su plataforma. Esta funcionalidad también se

puede utilizar para certificar digitalmente documentos como los Certificados de energía limpia, otorgando una mayor eficiencia y control a los usuarios cuando gestionan activos representados en el mundo digital.⁷³

4.6 Casos de Uso Potenciales para México

La sección anterior muestra varias iniciativas, proyectos, aplicaciones y soluciones de Blockchain para el sector energético. Aunque estos ejemplos pueden servir como punto de referencia sobre cómo se puede usar la tecnología en la industria, existen consideraciones adicionales que desempeñan un papel importante al evaluar los casos de uso, incluido el estado actual de la infraestructura, la madurez y la gobernanza de la industria, los factores macroeconómicos, el contexto político y Otros aspectos sociales y culturales que pueden representar barreras significativas para la innovación. Para identificar los factores relevantes aplicables a México, se invitó a un grupo de expertos a participar en un Taller digital diseñado para analizar y calificar las posibles aplicaciones de Blockchain de acuerdo con el impacto y viabilidad, con una perspectiva alineada al Sector Energético Mexicano. La siguiente gráfica muestra el proceso utilizado para seleccionar los casos de uso potenciales a considerar:

Gráfica 4.7 - Metodología para la Sección de Casos de Uso



Alianza Energética, 2020

Un total de 35 expertos en la materia asistieron al taller, el 53% de México para proporcionar información y experiencia del mercado local y el 47% restante de una selección diversa de países, incluidos Alemania, Estados Unidos, Italia y el Reino Unido. El grupo fue seleccionado cuidadosamente para incluir perfiles diversificados, con actores de la iniciativa privada, sector público, fundaciones, asociaciones / organizaciones, academias y startups (que representan 26%, 6%, 11%, 14%, 12% y 31% respectivamente). Además, las áreas de experiencia de los expertos incluyeron Energía (34%), Digitalización

(32%) y Blockchain (34%), equilibrados de tal manera que se incluyen perspectivas de estos 3 campos altamente relevantes.

Los participantes se distribuyeron en 3 grupos de trabajo separados para discutir los procesos actuales donde Blockchain se vuelve relevante, puntos críticos dentro de los procesos identificados y posibles casos de uso para resolverlos. Por último, se realizaron sesiones separadas con funcionarios públicos de alto nivel de dos de los organismos gubernamentales más importantes del Sector

72. Phineal. (2013). Tecnología inspirada en la naturaleza. Santiago, Chile. Obtenido de Phineal Sitio web: <https://www.phineal.com/>

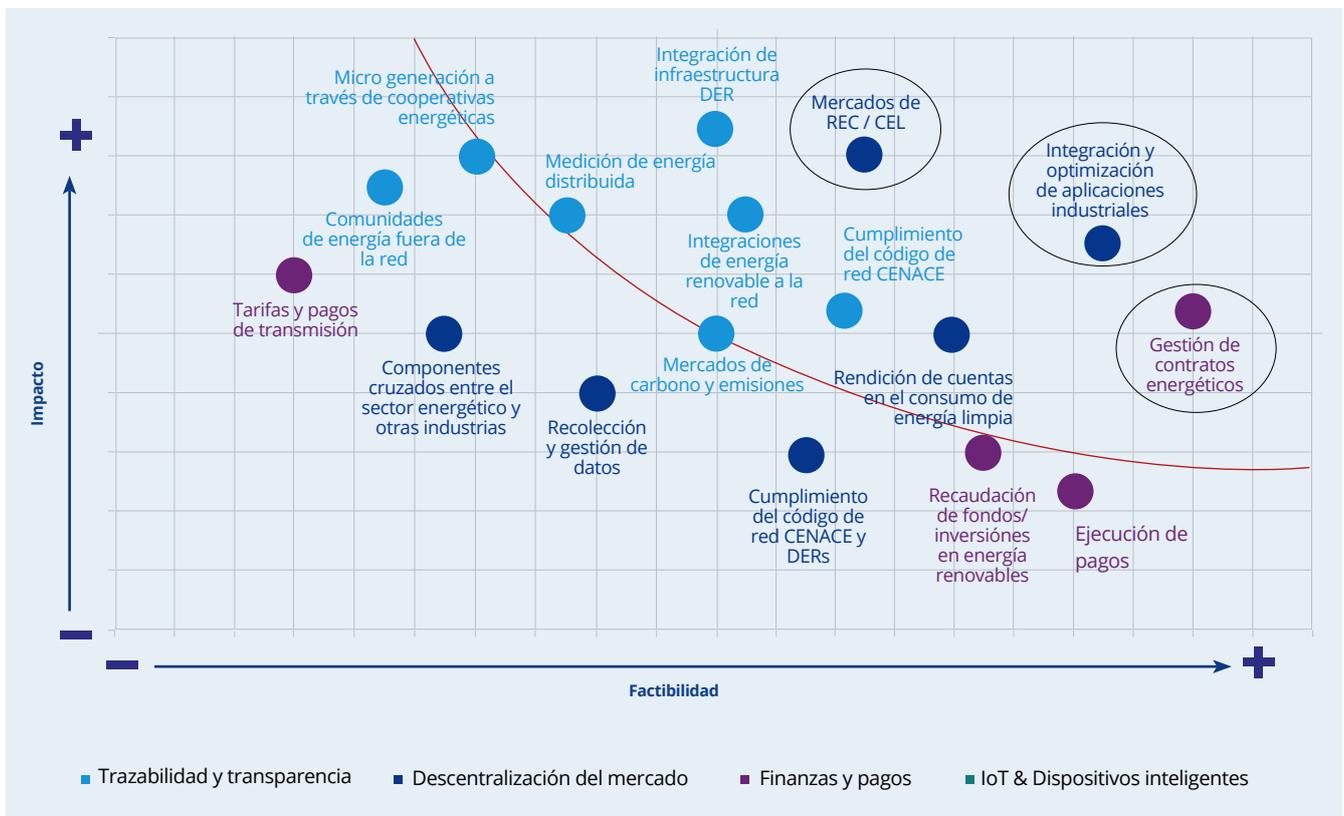
73. Lumit. (2019). Cincel. Ciudad de México, México. Obtenido de Lumit Blockchain web page: <https://www.cincel.digital/>

Energético Mexicano. Los hallazgos y resultados de las sesiones del taller se presentaron para obtener su opinión, perspectivas y contribuciones adicionales, que también se han integrado en la presente sección.

Primero, los expertos hicieron una lluvia de ideas a través de varios procesos actuales de la cadena de valor energética donde consideraban que Blockchain era una herramienta relevante basada en un análisis de factibilidad e impacto. Se usó una evaluación inicial usando el marco

provisto en la sección 3.6 para medir el impacto potencial que la tecnología podría tener en un proceso dado. En paralelo, se destacaron elementos clave como: costos asociados, regulaciones, infraestructura, acceso a habilidades y capacidades, beneficios potenciales y esfuerzo estimado para la implementación. Dichos elementos fueron la base para evaluar la viabilidad de implementar soluciones innovadoras, como Blockchain, dentro del proceso identificado. La gráfica 4.8 muestra los resultados de la comprensión del estado actual y la selección de procesos.

Tabla 4.8 - Selección de Procesos Actuales



Alianza Energética, 2020

Los expertos identificaron 7 procesos relacionados con los casos de uso de Trazabilidad y Transparencia, 7 para la Descentralización del Mercado y 4 para Finanzas y Pagos. Los expertos no propusieron procesos para IoT y dispositivos inteligentes, principalmente debido a la falta de madurez del mercado mexicano con respecto a este tipo de infraestructura, sin embargo, varios de los procesos futuros requerirán la integración de estas tecnologías para que tengan éxito. Los tres procesos circulados fueron seleccionados para explorar posibles casos de uso de Blockchain.

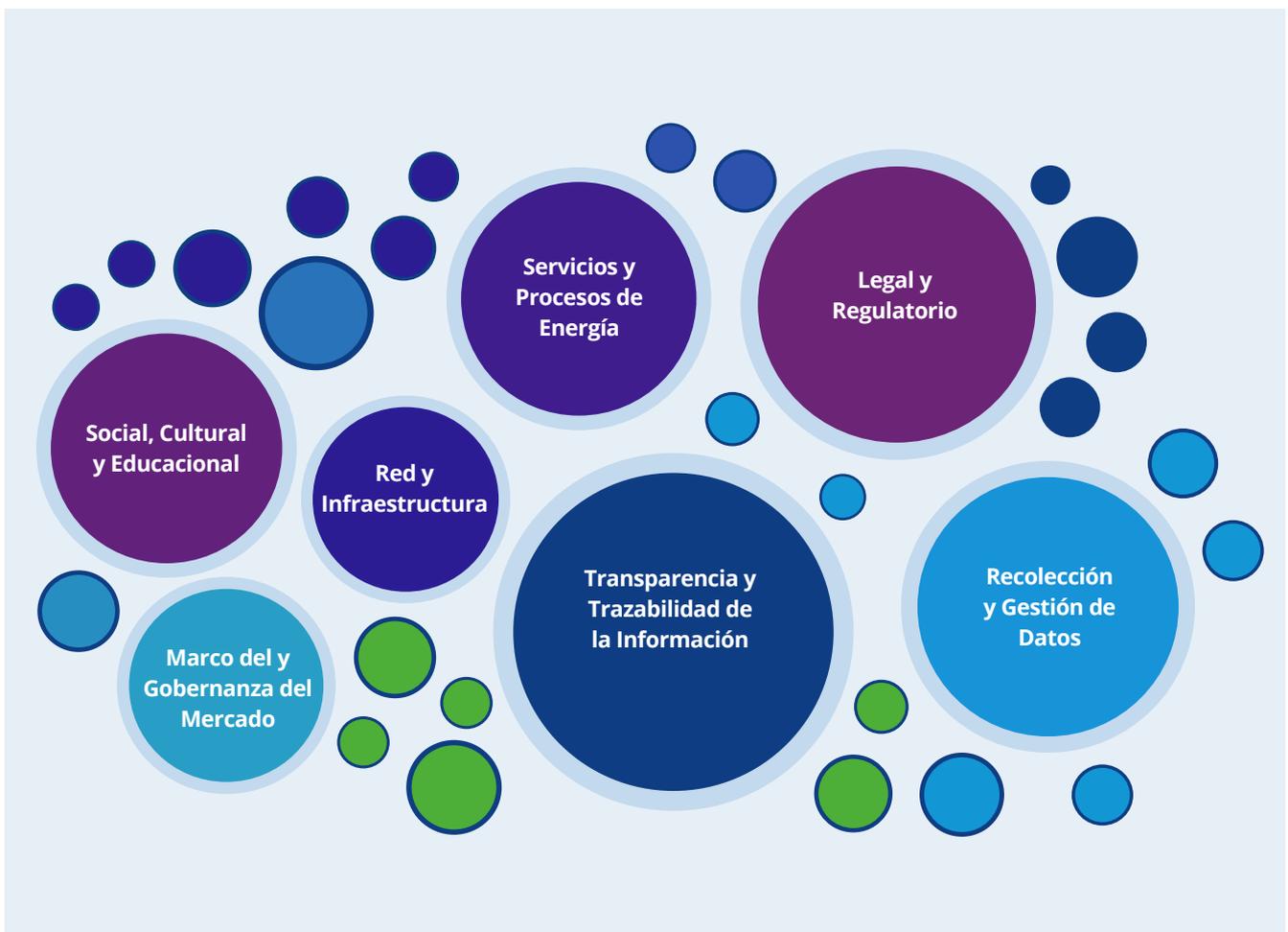
El primero es el Mercado Mexicano de CEL (comparable a los mercados internacionales REC), que tendría un alto impacto en la industria con ciertas limitaciones de viabilidad

debido a las regulaciones y la adopción de un marco estandarizado. Este proceso puede complementarse aún más con el registro del consumo de energía limpia. Otro proceso es la integración y optimización de aplicaciones industriales en la red; Aunque tiene un impacto menor que el anterior, la viabilidad aumenta significativamente dado que las soluciones pueden ser desarrolladas y probadas entre organizaciones privadas mientras se cumplen los marcos regulatorios actuales. Por último, la gestión de contratos de energía, con alta viabilidad, ya que Blockchain solo ayudará a racionalizar los procesos existentes para mejorar la eficiencia, pero con un menor impacto debido a varias herramientas disponibles para la automatización en el mercado.

En segundo lugar, en base a estos tres procesos y considerando otros procesos que están altamente relacionados con ellos, los expertos identificaron puntos débiles que la industria enfrenta actualmente. Todos los puntos débiles mencionados se clasificaron en 7 grupos, según en qué parte del proceso se centre. La gráfica 4.9 muestra todos los grupos en diferentes tamaños dependiendo de cuántos puntos débiles se mencionaron en total para cada categoría correspondiente, donde aquellos relacionados con la Transparencia de Datos y la Trazabilidad lideran los problemas que enfrenta la industria, seguidos

de Asuntos Legales y Regulatorios, Servicios y Procesos de Energía, Asuntos sociales, culturales y educativos y, finalmente, un empate entre la red y su Infraestructura y Gobernanza.

Tabla 4.9 - Priorización de Puntos Débiles Identificados



Alianza Energética, 2020

Todos los puntos débiles dentro de los grupos anteriores corresponden a procesos específicos, sin embargo, se presentan primero desde una perspectiva a alto nivel para proporcionar sensibilidad de los desafíos que enfrenta la industria. La sección 4.7 incluirá más detalles de los puntos débiles relevantes para cada uno de los procesos identificados. Cada punto débil también se calificó dependiendo de cuán crítico es para la industria actual, donde se encontraron algunas de las principales prioridades en la falta de transparencia sobre cómo se

obtiene la información disponible, el precio y la calidad de los servicios de energía disponibles, la infraestructura obsoleta para la recopilación de datos y escaso acceso al capital humano para implementar tecnologías digitales en la transición energética.

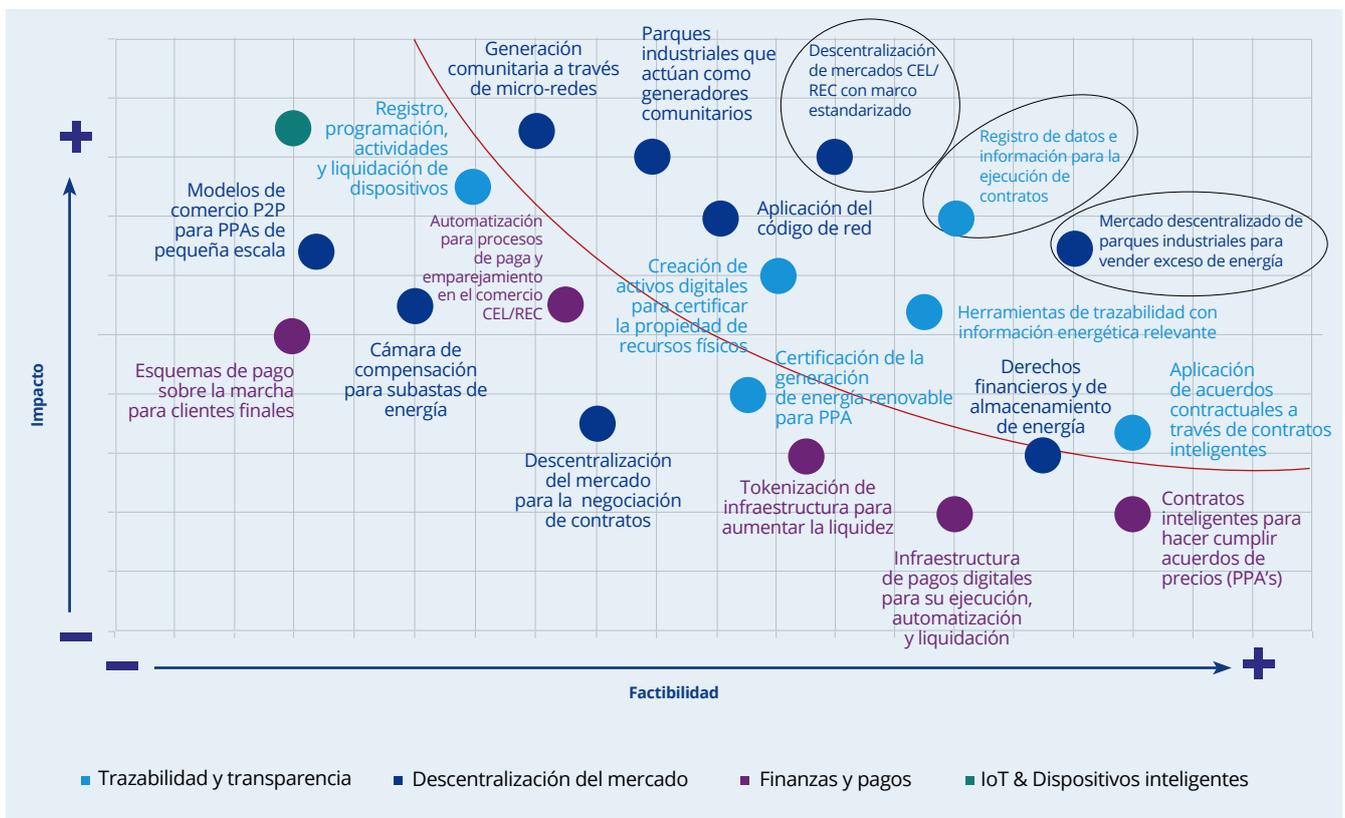
Luego, después de seleccionar un proceso actual junto con sus puntos débiles de alta prioridad para enfocarse, los participantes comenzaron a identificar posibles casos de uso que podrían implementarse en la industria

mexicana. Esta etapa también incluyó una evaluación de todos los casos de uso propuestos a través de un análisis de factibilidad e impacto similar al utilizado para seleccionar los procesos actuales.

La principal diferencia entre los dos marcos radica en las variables utilizadas para seleccionar los casos de uso más relevantes. Aquí, el impacto se mide analizando los desafíos que está tratando de resolver (por ejemplo, falta de transparencia, intermediarios ineficientes y monitoreo

de datos) y consideraciones estratégicas para los líderes de la industria (por ejemplo, valor de vida útil, penetración en el mercado y desintermediación). La viabilidad, por otro lado, se evalúa a través de una perspectiva comercial (por ejemplo, costos de implementación, beneficios para las partes interesadas, reducciones de riesgos) y consideraciones tecnológicas (por ejemplo, accesibilidad de datos, integración de infraestructura, interoperabilidad). Los posibles casos de uso identificados utilizando este marco se presentan en la siguiente gráfica.

Tabla 4.10 - Identificación de Casos de Uso Potenciales



Alianza Energética, 2020

Durante este proceso, la categoría líder para casos de uso potenciales identificados fue la descentralización del mercado, con un total de 9 candidatos. La siguiente categoría fue Trazabilidad y transparencia con 6 propuestas, seguida de Finanzas y pagos con 5 y, en último lugar, IoT y dispositivos inteligentes con solo 1 caso de uso. Estos resultados pueden respaldarse en la gráfica 4.6, que muestra que los dos principales beneficios que los líderes de la industria esperan de la tecnología Blockchain están relacionados con la transparencia y la descentralización. Una vez que todos los casos de uso identificados fueron calificados y mapeados, tres de ellos con el mayor potencial para el Sector Energético Mexicano fueron seleccionados: un mercado descentralizado CEL / REC con un marco estandarizado, registro de datos e información

para la ejecución de contratos y un mercado minorista descentralizado para los parques industriales vendan el exceso de energía. Es importante aclarar que varios casos de uso que se muestran en la gráfica 4.10 pueden ser complementarios a los 3 seleccionados, ya que están relacionados con el mismo proceso actual. Se presentarán más detalles de cada caso de uso en la siguiente sección.

4.7 Aplicaciones identificadas Dentro del Sector Energético Mexicano

Esta sección proporcionará un análisis para cada uno de los casos de uso seleccionados. Se revisará el proceso de selección completo, incluida la selección del flujo de procesos actuales, la identificación de puntos débiles y

la calificación del caso de uso potencial aplicable a cada aplicación seleccionada. Posteriormente se dará una explicación del caso de uso seleccionado, junto con una revisión de los casos de uso complementarios propuestos, los beneficios potenciales, los principales desafíos y los elementos de acción clave para la adopción de la industria.

Mercado CEL / CER Descentralizado con Marco Estandarizado

El primer proceso actual seleccionado fue el mercado de CEL, que los expertos identificaron con un impacto potencial relevante, ya que tiene muchas oportunidades en las que Blockchain podría crear soluciones viables. Blockchain podría hacer que la información dentro del mercado de CEL sea rastreable, transparente e inmutable, aumentando la eficiencia y reduciendo los costos. El proceso podría simplificarse al contar con información transparente y confiable de la generación, emisión y comercialización de CEL, reduciendo significativamente la necesidad de verificaciones y aclaraciones entre los participantes.

La implementación de Blockchain en el mercado de CEL a menudo se ve como un caso altamente factible debido a la naturaleza del proceso en el que ocurren transacciones entre numerosos participantes, por lo tanto, las organizaciones requieren transparencia de toda la operación. También se considera un proceso factible para la implementación de Blockchain, ya que existen casos de uso internacionales exitosos para mercados REC similares y

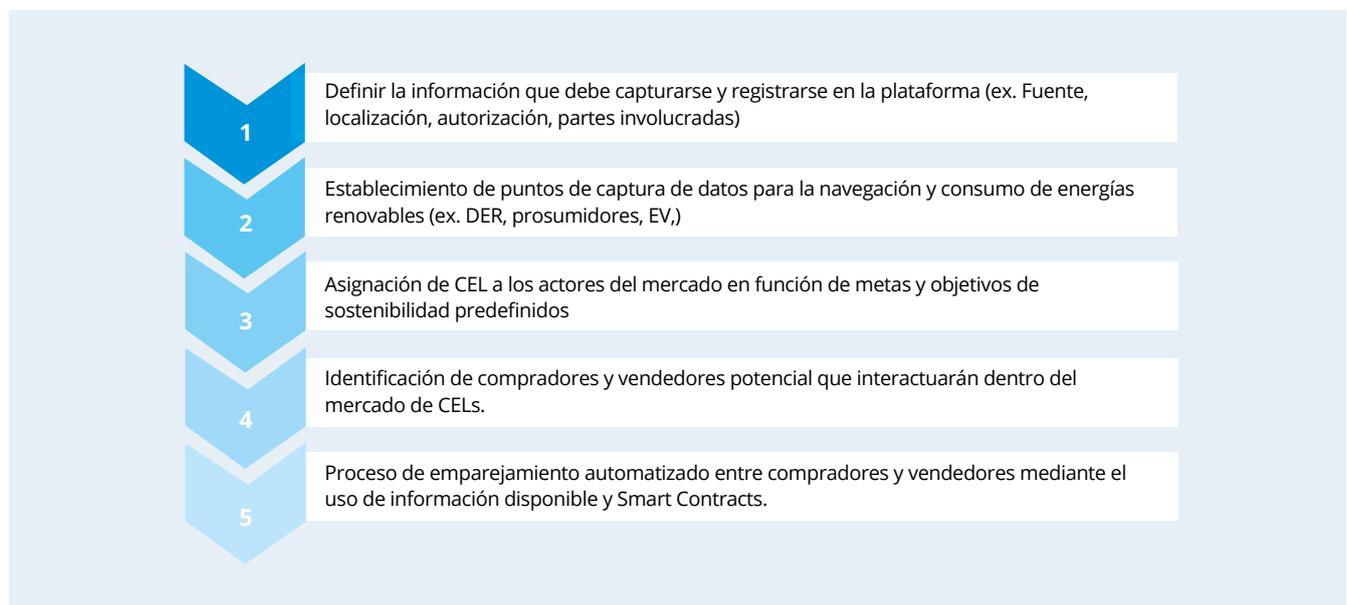
México ya cuenta con regulaciones estandarizadas para un mercado local de esta naturaleza.

Actualmente, este proceso consiste en que varias partes compartan información y tengan que verificar la integridad de los informes, ya que existen múltiples fuentes de información. Se emite un CEL a través del siguiente proceso: Primero, la CRE recibe un informe del CENACE de la cantidad de energía limpia producida por un generador específico, luego la CRE crea el CEL y lo otorga a la cuenta del generador correspondiente; Esto demora hasta 10 días de acuerdo con la ley vigente. Después de 10 días adicionales, el generador de energía limpia recibe su CEL.

En algunas ocasiones, la información compartida por CENACE a la CRE no es la misma la del generador, por lo que puede haber un proceso adicional en el que la CRE compara la información recibida de diferentes fuentes y puede solicitar aclaraciones. Una vez que se emite el CEL, ingresa al mercado donde los participantes con la obligación de comprarlos pueden presentar ofertas de compra y los generadores de energía limpia presentan ofertas de venta. Finalmente, la CRE analiza qué jugadores han cumplido con sus obligaciones de CEL (CRE, 2016).⁷⁴

En el taller, los expertos segmentaron el proceso del mercado CEL en 5 etapas a alto nivel que son importante tener en cuenta para el desarrollo de una solución Blockchain. Estas etapas no comprenden todo el proceso para el mercado de CEL, pero son pasos clave a tener en cuenta para comprender cómo se podría implementar Blockchain.

Gráfico 4.11 - Proceso Actual del Mercado CEL



Alianza Energética, 2020

74. CRE. (2016). Preguntas Frecuentes sobre los Certificados de Energías Limpias. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/cre/articulos/preguntas-frecuentes-sobre-los-certificados-de-energias-limpias>

En primer lugar, la información que se capturará y registrará en la plataforma debe estar claramente definida, así como quién tendrá acceso a ella. Un ejemplo de información relevante para capturar es la fuente de energía, para identificar cómo se generó la energía y de qué tecnología proviene la electricidad. Luego, es importante definir cómo se capturará la información en la plataforma, teniendo en cuenta que si se introducen datos sucios al Blockchain se obtendrá un resultado poco confiable (garbage in – garbage out). Aquí IoT y los medidores inteligentes pueden jugar un papel importante en la captura de información de DER. Posteriormente, el CEL se asigna a los generadores de energía limpia en función de la cantidad de electricidad producida. Una vez que se ha emitido el CEL, los jugadores del mercado deben identificar a la contraparte para comerciar con ellos.

Existen diferentes actores públicos y privados que actualmente participan en el mercado de CEL. La CRE tiene un papel clave ya que es el regulador del mercado, además, también es responsable de la emisión de CEL. Antes de que se pueda implementar Blockchain en el Sector Energético Mexicano, la CRE debe aprobar la plataforma y las especificaciones necesarias para un mercado habilitado por Blockchain. El CENACE será responsable de informar sobre la energía generada por cada jugador a la CRE para definir los CEL que corresponde a cada uno, por lo tanto, deben tener acceso a los puntos de recopilación de datos que alimentarán a la plataforma. CENACE también opera el mercado mayorista de electricidad en el que se comercializan CEL.

Los participantes privados en el mercado de CEL son los generadores de energía limpia que reciben CEL por cada MW/h de energía limpia generada, que luego se venden a las partes obligadas. Los jugadores con la obligación de comprar CEL son suministradores (incluido CFE), usuarios calificados que participan en el mercado, usuarios finales bajo esquemas de autoabastecimiento y partes con contratos de interconexión heredados. Se puede hacer un planteamiento inicial para introducir Blockchain dentro de este proceso entre los participantes privados mediante la creación de un mercado voluntario a pequeña escala para proporcionar información suficiente sobre la factibilidad, los principales beneficios y los posibles impactos en el mercado para CRE y CENACE. Esto podría proporcionar información valiosa al sector público para evaluar Blockchain como una herramienta para mejorar el mercado actual de CEL.

Después de identificar las etapas del proceso y los actores involucrados, se realizó un ejercicio para evaluar los puntos débiles del proceso seleccionado. El punto crítico definido como el más relevante fue la falta de transparencia en la información disponible para los participantes

del mercado. Al tener transparencia en la información sobre cuánta energía renovable se produce, la ubicación donde se produce y la tasa de crecimiento de la generación distribuida, los actores del mercado habrán aumentado la certeza del mercado lo cual podría aumentar la inversión en el Sector Energético Mexicano. En México, la transparencia también es un problema para el operador, ya que no tiene información clara sobre el crecimiento y la ubicación de las plantas de energía renovable y los DER; El acceso a esta información podría facilitar las decisiones sobre la red y su infraestructura.

Otros puntos débiles importantes mencionados son la trazabilidad deficiente del origen (es difícil verificar la fuente de generación y los consumidores no pueden comprobar el origen de la energía que están comprando), los procesos burocráticos que incluyen informes y verificaciones, y la falta de estandarización a nivel global. Luis Guillermo Pineda de la CRE mencionó que el proceso actual para monitorear y contabilizar las transacciones de CEL es muy complejo y se lleva a cabo a través de actividades algo manuales. El mercado requiere información confiable sobre la cantidad de CEL disponibles, por lo tanto, la actualización constante de información es crucial. Esto aumenta el riesgo de tener errores en el registro de información y es una actividad que requiere mucho tiempo lo cual se podría optimizarse con Blockchain.



Tabla 4.12 - Caso de Uso de un Mercado CEL Descentralizado

Descentralización Mercado de CEL	
<p>Descripción del caso de uso</p> <p>Una plataforma Blockchain donde se introduce información sobre los certificados de energía limpia, como la hora, fuente, ubicación y el generador, para mantener el registro de las especificaciones de la generación de la energía limpia en México. Los jugadores del mercado podrían intercambiar CEL con sus contrapartes a través de la plataforma</p>	
<p> Beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tener un marco estandarizado para que los actores tomen sus decisiones. • Aumenta la confianza y reduce el riesgo del lado del comprador al tener acceso a información transparente. • Acceso a información de los participantes en la cadena de valor. • Acceso a un mercado descentralizado para los participantes. • Mitigación de riesgos para los mercados emergentes al nivelar el campo de juego para proporcionar incentivos para la asignación de capital. 	<p> Retos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de los marcos regionales, locales, fiscales, financieros y regulatorios en diferentes países. • Asegurar el registro correcto de la información cuando se integre a los dispositivos. • Ciberseguridad y problemas de privacidad de datos. • Resolver el Trilema de Blockchain para soluciones de grado industrial: seguridad, velocidad y descentralización. • Establecer marcos para democratizar e incentivar la entrada a nuevos participantes.

Alianza Energética, 2020

Por lo tanto, el caso de uso seleccionado busca resolver estos puntos débiles dentro del estado actual del mercado de CEL. Blockchain se puede utilizar para crear un mercado de CEL descentralizado con un marco estandarizado para que los participantes de la red intercambien certificados de energía limpia. El alto impacto que se muestra en la gráfica 4.10 se debe a la transparencia y la responsabilidad que puede proporcionar para este tipo de mercados, lo que aumenta la confianza y reduce los riesgos entre las contrapartes. Sin embargo, tiene menor factibilidad que los otros dos casos de uso seleccionados debido a las regulaciones existentes, la aceptación de adherirse a un marco estandarizado y los esfuerzos de coordinación para establecer este mercado. Este caso de uso pertenece a la categoría de Descentralización del mercado, ya que permitirá un ecosistema descentralizado para que los actores de la industria participen en un mercado que proporcione un mecanismo confiable y eficiente para ejecutar transacciones. Sin embargo, también tiene algunas características clave de los modelos de negocio de Transparencia y Trazabilidad.

La plataforma Blockchain propuesta mejora la transparencia de la información al proporcionar acceso automatizado y visibilidad de partes específicas del proceso a los actores relevantes involucradas. Puede reducir los problemas burocráticos ya que el intercambio de da-

tos y la verificación entre las partes involucradas ya no serían necesarias. El ecosistema de confianza distribuido habilitado por Blockchain elimina la necesidad de que un tercero verifique cada transacción, lo que resulta en reducciones de tiempo y costos y hace que el mercado sea mucho más accesible para los participantes de pequeña escala. Si el mercado CEL se estandarizara a nivel global, los jugadores internacionales también podrían comprar CEL y obtener valor en sus propios países.

Además, tener un marco CEL estandarizado para todos los actores de la industria (junto con los bajos costos de transacción que ofrece la plataforma) podría permitir un mercado voluntario donde las personas o las pequeñas empresas puedan intercambiar certificados o conservarlos como prueba de su consumo de energía limpia. Este mercado voluntario podría ayudar a aumentar la demanda de CEL y aumentar sus precios, aumentando así el atractivo de las inversiones en energías renovables.

Un beneficio dirigido específicamente hacia la CRE es que, si los CEL se negocian en una plataforma Blockchain donde cada transacción es inmutable y rastreada, permitirá al regulador tener una conciliación automatizada casi en tiempo real de las organizaciones que ya han cumplido con sus obligaciones CEL, ahorrando tiempo y recursos significativos. La CRE también podría cobrar tarifas a los

participantes que no cumplan con sus obligaciones de sostenibilidad de forma automática mediante el uso de contratos inteligentes y la información disponible registrada en Blockchain.

Como se mencionó anteriormente, la solución seleccionada se orientó hacia el mercado mexicano de CEL. Aunque el mercado descentralizado de CEL se seleccionó entre varios casos de uso propuestos, hay otras aplicaciones de Blockchain que vale la pena mencionar para este proceso. Un ejemplo es una plataforma automatizada de pagos y emparejamiento para el comercio de CEL en la que el mercado no funciona simplemente como una plataforma de comercio, sino también para ayudar a identificar y coordinar vendedores y compradores potenciales a través de contratos inteligentes. Otra solución complementaria es una herramienta de trazabilidad que contiene información relevante del mercado con respecto a la generación y el consumo de energía, donde el factor clave no es ofrecer certificados para comercializar, sino más bien ofrecer transparencia y trazabilidad de los atributos energéticos a las organizaciones. Por último, existe la posibilidad de crear activos digitales para certificar la propiedad de los recursos más allá de los certificados de energía limpia; Algunos ejemplos son las emisiones de carbono, los certificados de eficiencia energética y la infraestructura DER tokenizada.

Hay algunos desafíos que deben considerarse al analizar un mercado CEL descentralizado a través de una plataforma Blockchain. Una de las preocupaciones más comunes es la privacidad de los datos. Dado que la información capturada en la plataforma será inmutable, es importante definir qué información se introducirá y quién tendrá acceso a ella, mientras que se asegura de cumplir con los estándares internacionales, como el marco GDPR de la UE. Otro desafío es configurar la infraestructura requerida para garantizar el registro y la validación correcta de los datos para garantizar la confianza en la red. Por último, existe un problema de coordinación para incentivar a los actores de la industria a participar en este mercado, donde puede surgir un desafío debido a la falta de participantes o la masa crítica inicial para hacer que la plataforma sea operable.

Para que este caso de uso funcione, los reguladores y las autoridades deben estar a bordo, lo que también puede representar un desafío importante. Como lo señalaron varios expertos en el taller, los ministerios o las secretarías de energía generalmente necesitan ejemplos de cómo se aplica el caso de uso en el mundo real, necesitan ver que ya está funcionando para confiar plenamente en él. Las autoridades buscan tener ejemplos de la vida real y casos exitosos dado que existe un alto riesgo para los usuarios, que podrían verse afectados si algo sale mal.

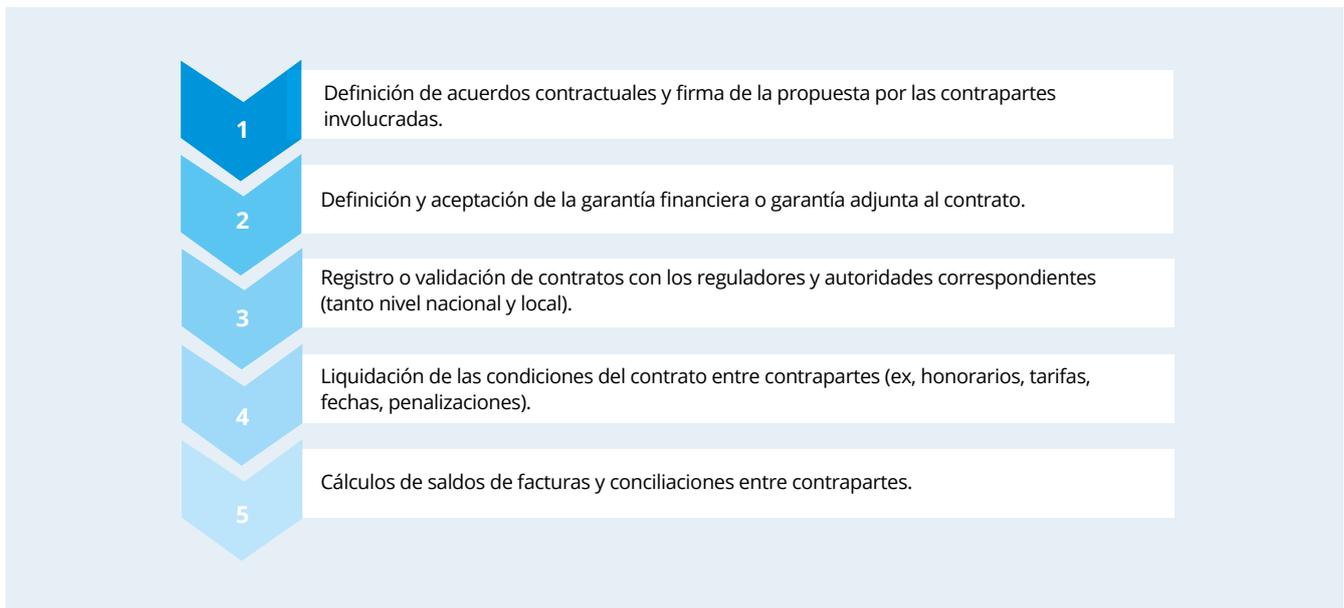
Sin embargo, los mercados similares al CEL en México son uno de los casos de uso más desarrollados en todo el mundo y hay muchas organizaciones que ya han desarrollado soluciones que respaldan su viabilidad. Un ejemplo es Energy Web Foundation a través de su SDK EW Origin.

Antes de implementar soluciones Blockchain, se recomienda probar un ecosistema mínimo viable para ver si los participantes realmente comparten puntos débiles que podrían abordarse a través de una solución a gran escala. También se refiere al mínimo número de participantes que interactúan en la plataforma para que tenga sentido, ya que los beneficios de Blockchain son mucho más relevantes cuando hay numerosos jugadores que interactúan entre sí.

Registro de Datos e Información para la Ejecución de Contratos

La gestión de contratos también se consideró un proceso actual clave en el que los puntos débiles relevantes podrían abordarse a través de una plataforma Blockchain. Se consideró un proceso con un alto potencial para Blockchain ya que los sistemas centralizados actuales carecen de cumplimiento y control del contrato. Una plataforma distribuida podría ayudar a administrar los contratos a través de una solución donde ciertos procesos podrían eficientarse y las interacciones de terceros se vuelven más eficientes. Por ejemplo, al firmar contratos PPA es necesario presentar una garantía para reducir el riesgo de la contraparte, la plataforma podría facilitar el proceso de presentación, verificación y autorización de garantías financieras.

Al hacer que la información en todo el mercado sea transparente, los jugadores podrían estar más seguros con respecto a los pagos y los riesgos involucrados en los acuerdos contractuales, lo que en consecuencia aumentaría el atractivo del mercado. Tener información contractual registrada en una plataforma Blockchain abre una amplia gama de oportunidades para optimizar los procesos y mejorar la transparencia de los datos. También es factible ya que no necesita una autoridad que esté a bordo, los jugadores privados son los que negocian los PPA y la solución los beneficiaría directamente. El potencial de Blockchain para contratos y gestión de PPA ya ha sido probado por empresas internacionales. Algunas organizaciones como WePower han simplificado el proceso de PPA a través de una plataforma Blockchain y han demostrado que se puede crear valor mediante la introducción de información contractual.

Gráfico 4.13 - Proceso Actual de Gestión de Contratos

Alianza Energética, 2020

El primer paso es definir el acuerdo contractual y obtener las firmas de la contraparte. Esto implica que la identificación y selección de compradores / vendedores potenciales permanecerá bajo el sistema actual, ya que no hay plataformas de emparejamiento ni subastas privadas representativas. Después de seleccionar a la contraparte para el PPA, se comienzan negociaciones entre las partes para establecer el precio de la energía, las tarifas por incumplimiento, la definición y aceptación de garantías, los términos generales, la cantidad de energía y los productos conexos. Las autoridades deben ser notificadas acerca de la intención de firmar un nuevo contrato; en el caso de México, se debe notificar al CENACE y CFE. Posteriormente se acuerdan las condiciones y se firma el contrato. Una vez que ambas partes firman el PPA y el generador está vendiendo energía al consumidor, se requieren balances de facturas y conciliaciones.

Los principales actores involucrados en este proceso son los compradores y vendedores de energía, ya que ellos son los que comercializan bienes. Los vendedores deben tener una planta generadora de energía, un suministrador calificado o un permiso de comercialización de la CRE para que se les permita legalmente vender energía. Por otro lado, los compradores deben constituirse como usuarios calificados para poder comprar energía de generadores privados. Es probable que los compradores y vendedores de energía tengan que desarrollar esta solución de forma independiente debido a que son los actores que recibirán los beneficios. CENACE se encarga de definir el precio en los nodos de generación y consumo

y de liquidar el valor de la energía comercializada. Otra organización involucrada es CFE, que mide la energía que se inyecta y extrae de la red. Aunque estas entidades están involucradas en la firma de PPA, no están involucradas en todas las especificaciones contractuales, solo proporcionarían datos específicos que se pueden aprovechar en la solución propuesta.

Actualmente hay varios puntos débiles para la gestión de contratos en el sector. Una de las principales preocupaciones identificadas en los talleres es con respecto a los datos. Hay dos factores principales a considerar cuando se introducen datos en la cadena de bloques. El primero es encontrar una manera de garantizar que se registre información confiable y el segundo es cómo mantener la seguridad de los datos y la ciberseguridad de principio a fin. Blockchain podría ayudar a superar las preocupaciones de seguridad, sin embargo, la validez de la información debe ser asegurada antes de introducir información en la cadena de bloques a través de la recopilación de datos y la gestión de la infraestructura.

Otros puntos débiles mencionados incluyen la falta de visibilidad de la información y los procesos para las partes involucradas. Un ejemplo son los costos asociados con las tarifas de transmisión o del operador del mercado, en las cuales los actores del mercado no tienen una visibilidad completa de cómo se calcula la tarifa.

Además, se mencionó el bajo cumplimiento de los contratos, que es un punto débil que Blockchain podría

resolver mediante la implementación de contratos inteligentes que programen condiciones contractuales específicas. Además, los contratos a veces pueden involucrar procesos largos y burocráticos que pueden tomar varias semanas o incluso meses, lo que representa altos costos de negociación. Blockchain podría optimizar algunos procesos al tener el registro de la información en un contrato y los contratos inteligentes como una característica adicional para su cumplimiento. La aplicación de los términos acordados mediante contratos inteligentes puede ayudar a dar certeza a los jugadores para resolver este punto débil en específico. Blockchain también podría actuar como un intermediario para garantizar que se cumplan los términos contractuales, esto proporcionará confianza a los participantes del mercado y se reducirán los riesgos.

Hay muchos casos de uso en los que Blockchain podría implementarse en PPA, sin embargo, los puntos débiles identificados relacionados con la ejecución del contrato pueden resolverse a través del segundo caso de uso seleccionado: Monitoreo de datos e información para la ejecución del contrato. Este candidato tiene una evaluación de impacto y viabilidad más equilibrada, donde un aumento en la eficiencia para la gestión de contratos, la mejora de la comunicación entre los actores de la industria y un mayor cumplimiento por las contrapartes respaldan los posibles impactos de la industria. Mientras tanto, establecer la infraestructura necesaria para la recopilación de datos, la interoperabilidad con los sistemas heredados existentes y mantener el cumplimiento de los marcos regulatorios actuales representan restricciones que reducen la viabilidad del caso de uso.

Tabla 4.14 - Caso de Uso de Gestión de Contratos

Gestión de Contratos	
<p>Descripción del caso de uso</p> <p>La información contractual se puede introducir en el Blockchain para tener la contabilidad de las transacciones involucradas y usar contratos inteligentes para hacer cumplir los pagos. Las características adicionales incluyen mercados secundarios de PPA y conciliaciones</p>	
<p> Beneficios</p> <ul style="list-style-type: none"> • Agiliza el proceso aumentando la eficiencia, reduciendo los costos asociados a las garantías. • Mejora el acceso a la información que podría permitir la reducción de las conciliaciones y el proceso manual. • Mejora la comunicación entre la industria a través de un mejor intercambio de información, lo que resulta en un ahorro de costos y tiempo. • Reduce la fricción para que los compradores / consumidores cambien en proveedor de energía y aumenta la competencia en el mercado. 	<p> Retos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Convencer a los actores del mercado en unirse a la red que permita realizar el caso de uso. • Desarrollar el caso de negocio e identificar indicadores clave como el retorno de la inversión para involucrar a los participantes interesados. • Estandarización de la información entre todos los actores del mercado. • Cumplimiento de los marcos regulatorios actuales y de la información requerida para que se lleve a cabo.

Alianza Energética, 2020

Este caso de uso implica que la información sobre el PPA se introducirá en una plataforma Blockchain y los contratos inteligentes harán cumplir ciertos acuerdos dentro del contrato. Podría respaldar la verificación de transacciones y proporcionar una fuente confiable de información para las contrapartes. Uno de los principales beneficios tangibles para los PPA son las conciliaciones, que requieren que varias partes compartan y comparen datos y luego calculen la factura final. CFE mide la electricidad producida y consumida y luego la comparte con CENACE; CENACE toma esta información y considera los precios nodales de cada punto para realizar la conciliación y

finalmente comparte la factura final con el consumidor. Este proceso se realiza cada hora para cada contrato de PPA activo en el país. Al incluir esta información en unBlockchain, no será necesario compartirla repetidamente y todos los jugadores involucrados podrían tener acceso a ella. Esto permitiría a CENACE tener información de medición casi en tiempo real de CFE, y las partes que firmaron el PPA podrían ver su consumo o generación en tiempo real, todo validado por los participantes a través de Blockchain. Por lo tanto, las conciliaciones podrían automatizarse a través de contratos inteligentes para ahorrar tiempo y reducir costos.

Además de la liquidación de facturas, existen otros productos conexos a los que los actores del mercado deben acatarse para cumplir con las regulaciones de la industria. Algunos de estos productos incluyen Balance de potencia y CEL. El CENACE necesita tener transparencia de estos productos auxiliares para saber quién ya ha cumplido con sus obligaciones. Si ya se está introduciendo información sobre el precio y la cantidad de energía en Blockchain, podría traer beneficios adicionales el incluir información sobre productos conexos. Al incluir esta información, el reporte de los productos conexos obtenidos podría simplificarse, lo que facilitaría a los reguladores verificar quién cumplió con sus obligaciones.

Al tener los términos de PPA acordados en Blockchain, ciertas cláusulas también podrían ejecutarse. Un ejemplo podría ser el pago de tarifas de incumplimiento. Hay ciertas tarifas por no cumplir con los términos contractuales, como no entregar la energía a la que se comprometió el vendedor o que el comprador no pague por la energía que recibió. Estas tarifas podrían cobrarse automáticamente mediante contratos inteligentes (excluyendo la necesidad de abogados y disputas legales) cuando se puede obtener la información necesaria de Blockchain. Juan Roberto Lozano, Jefe de Asuntos Internacionales y Gubernamentales de CENACE, señaló que probablemente puedan aprovechar funcionalidades similares de los contratos inteligentes para ciertos casos específicos, incluyendo el cumplimiento del código de red, ayudando a asegurar que cada jugador del mercado conectado a la red satisfaga los requisitos técnicos y de seguridad.

Otro elemento contractual que podría automatizarse y dotarse de transparencia son los costos regulados mencionados anteriormente, que incluyen las tarifas de transmisión y distribución y las tarifas del CENACE. Actualmente, los actores del mercado no pueden verificar cómo se determina esta tarifa. Si esta información se incluyera en Blockchain, proporcionaría beneficios a los actores del mercado, así como a los reguladores. Los participantes del mercado se beneficiarán al tener total transparencia con respecto a cómo se calculó la tarifa, proporcionando confianza al sistema. Los reguladores se beneficiarán al tener un registro de todos los pagos que se han realizado y, como funcionalidad adicional, los pagos podrían incluso automatizarse.

También se propusieron otros casos de uso relacionados con alto potencial, uno de ellos en el que las empresas muestran interés es la necesidad de demostrar su consumo de energía renovable. Actualmente, es difícil para las empresas comprobar esta información, ya que no existe un documento legal que acredite la compra de energía limpia. Blockchain podría tokenizar estas certificacio-

nes cuando se genera energía limpia, permitiendo que se transfieran a las empresas para probar la fuente de la energía que consumen, otorgando responsabilidad por los objetivos de sostenibilidad y mitigando los riesgos relacionados con el cambio climático.⁷⁵

México todavía tiene un modelo tradicional en el que los consumidores buscan generadores privados para negociar un PPA, pero en otros países hay ciertas plataformas que ayudan a unir los generadores con los consumidores de acuerdo con las necesidades y características de cada caso. Un mercado descentralizado para PPA facilitaría a los compradores/vendedores a encontrarse, lo que podría incentivar el mercado a través de un proceso más eficiente y automatizado para emparejar a las contrapartes de la transacción. Este mercado podría disminuir las barreras de entrada para los consumidores a pequeña escala y permitirles acceder a estos modelos. Los PPA podrían tokenizarse a través de Blockchain en el que varios consumidores a pequeña escala podrían comprar energía y tener un token para los derechos u obligaciones que corresponden a cada uno. Tokenizar las fracciones de un PPA también permite un mercado secundario en el que se pueden comercializar los PPA. Esto proporciona seguridad a los actores del mercado al permitir que los pequeños consumidores de energía que poseen un PPA lo vendan a un tercero en caso de quiebra, de esta manera el generador seguirá teniendo un comprador y el consumidor podría obtener algo de liquidez a través de la transacción. Firmar un PPA con un consumidor a pequeña escala puede representar riesgos para el generador y costos excesivos para la energía vendida, al firmar los PPA con múltiples consumidores de pequeña escala, el riesgo se distribuye y el mercado secundario da certeza a las transacciones acordadas.

Uno de los principales desafíos para implementar esta plataforma de gestión de contratos es incorporar un número suficiente de participantes interesados en desarrollar y unirse a esta plataforma para que agregue valor. Blockchain no tiene sentido si solo hay unos pocos participantes interactuando en la plataforma. Esta es la razón por la cual es importante evaluar un ecosistema mínimo viable antes de implementar el caso de uso.

Otro desafío relevante es la creación, introducción y procesamiento de datos dentro de la plataforma, ya que la información debe ser precisa y estandarizada. Blockchain necesitará tener acceso a la información de cada contrato y la mejor manera de lograrlo es estableciendo un formato estandarizado en el que se introduzca la información. Es importante tener en cuenta que los datos introducidos y el marco estandarizado tendrían que cumplir con las regulaciones aplicables.

75. Ghosh, A., Rhodes, Y., Ternullo, S. & Caron, K. (2020). Harnessing technology convergence to manage climate change. Nueva York, EUA. Obtenido de KPMG US Sitio web: <https://advisory.kpmg.us/content/dam/advisory/en/pdfs/2020/kpmg-harnessing-tech-convergence-manage-climate-change.pdf>

Mercado Minorista Descentralizado de Parques Industriales para Vender Exceso de Energía.

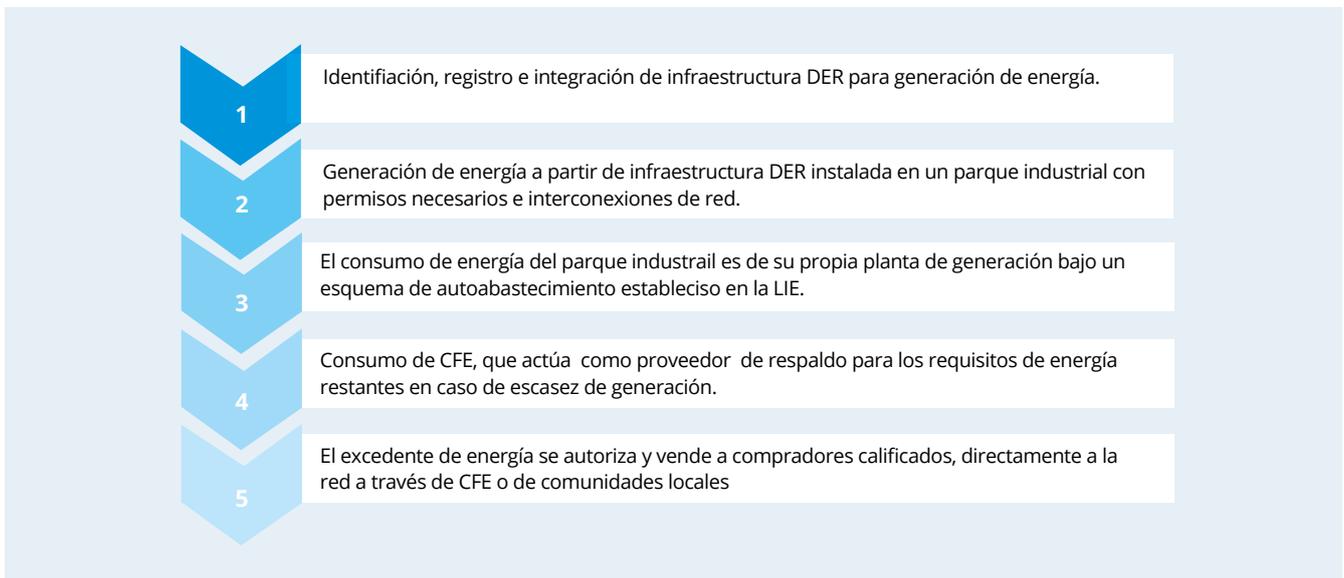
El último proceso actual seleccionado fue la integración y optimización de DER para aplicaciones industriales fuera de la red. Este proceso se consideró relevante para evaluar posibles aplicaciones de Blockchain debido a los grandes volúmenes de datos que ingresan desde la múltiple infraestructura DER instalada en parques industriales para autoabastecimiento. Otro proceso que también obtuvo una buena evaluación por parte de expertos fue la integración de la infraestructura DER en la red. En este caso, una plataforma Blockchain podría permitir al operador del sistema maximizar el potencial de el creciente número de DER en la red al identificarlos y registrarlos, permitiendo aplicaciones que aprovechen los datos que ingresan en el registro.

Ambos procesos están altamente relacionados, sin embargo, la integración de los DER de los parques industriales resultó como el proceso seleccionado. Esto se debió

principalmente a su enfoque en una parte específica de la cadena de valor, lo que lo convierte en un proceso mucho más factible para una fase de exploración inicial con la tecnología Blockchain. Además, también sirve como prueba a pequeña escala para la integración futura de una gama más amplia de infraestructura DER, que puede escalar a dispositivos adicionales fuera de parques industriales, como celdas fotovoltaicas, turbinas eólicas, EV, medidores inteligentes, IoT dispositivos e instalaciones de almacenamiento. Por lo tanto, se priorizó la factibilidad sobre el impacto para analizar los posibles casos de uso con menos restricciones de implementación en el mercado local.

El proceso seleccionado se trazó en 5 pasos generales para evaluar las oportunidades en las que Blockchain se vuelve relevante mediante la identificación de los principales actores involucrados, las partes interesadas relevantes, los puntos débiles de la industria, los beneficios potenciales y las consideraciones estratégicas adicionales. El gráfico 4.15 muestra una perspectiva de alto nivel de cómo se lleva a cabo la integración y optimización de DER.

Gráfico 4.15 - Proceso Actual de Aplicaciones Industriales



Alianza Energética, 2020

El primer paso es identificar la infraestructura DER que debe integrarse en la red para obtener los permisos de generación requeridos y establecer interconexiones de la red. Posteriormente, la planta de generación comienza a producir energía que puede utilizarse para múltiples fines. El objetivo principal para el cual los parques industriales instalan este tipo de infraestructura es el autoabastecimiento. Sin embargo, si la planta de generación tiene un permiso de la CRE para participar en el MEM, puede vender su exceso de energía a un tercero, que debe ser un usuario calificado autorizado o un proveedor de servicios

calificado (por ejemplo, fábricas adyacentes u otro parque industrial por completo). Finalmente, si el exceso de energía no se vende a un tercero calificado, el generador puede vender el exceso de energía directamente a la red. También vale la pena mencionar que el excedente de energía también podría venderse a las comunidades locales; Si bien no existe una regulación actual para la generación comunitaria, hay planes para incorporar este modelo en la legislación mexicana, lo que lo convierte en un área de oportunidad interesante para evaluar.

Hay varios actores involucrados en este proceso, tanto del sector público como del privado. Desde el punto de vista público, CFE tiene derechos reservados por el Estado para la distribución y transmisión de energía, lo que los convierte en un actor crítico por dos razones. Primero, cuando se vende energía a la red, se vende directamente a CFE. En segundo lugar, incluso cuando se vende la energía a un usuario privado calificado, CFE aún interactúa en la operación al cobrar tarifas de transmisión y distribución y al medir la energía generada y consumida por las partes involucradas. Además, CFE también puede servir como proveedor de energía de respaldo si el parque industrial requiere energía adicional. CENACE también tiene un papel importante, ya que monitorea las transacciones entre generadores y consumidores en el MEM y proporciona estabilidad a la red, por lo tanto, se vuelve relevante para realizar interconexiones DER con la red y para monitorear la infraestructura DER a nivel nacional. Por último, la CRE es responsable de regular el sector, por lo tanto, los permisos requeridos para actuar como generador y/o usuario calificado deben ser autorizados por esta institución.

También se encuentran actores relevantes en el sector privado. Los más importantes son los parques industriales, junto con las fábricas y plantas que lo conforman, ya que el proceso analizado se centra en ellos y en su infraestructura DER, que puede integrarse y optimizarse para aplicaciones fuera de la red. Los posibles casos de uso giran en torno a las plantas de generación que tienen como objetivo suministrar energía a todo un parque industrial, y posiblemente a otros terceros como las comunidades locales. Esta es la razón por la cual los jugadores, como los usuarios calificados y los proveedores de servicios, también deben considerarse, ya que también pueden formar parte de esta red, lo que les permite comprar el excedente de energía disponible de fuentes renovables a precios competitivos. Surgirán actores más críticos a medida que el marco regulatorio avance hacia la incorporación de la generación distribuida comunitaria, como las comunidades/cooperativas de energía y las granjas de energía renovable. Por último, también deben considerarse actores externos, más específicamente proveedores de infraestructura, técnicos y proveedores de mantenimiento, instituciones financieras y la banca de desarrollo.

Los expertos señalaron muchos puntos críticos de la industria específicos del proceso analizado, donde la mayoría de los problemas se encontraron dentro de las categorías de puntos débiles de energía y servicios y temas sociales, culturales y educativos. La primera preocupación y tal vez la más crítica expresada durante el taller, estaba relacionada con la calidad y confiabilidad de la energía. Las plantas de generación instaladas en parques industriales suelen estar equipadas con infraestructura DER

que produce energía a partir de fuentes renovables, lo que significa que están sujetas a generación variable debido a factores naturales fluctuantes (más específicamente recursos eólicos y solares). En consecuencia, la calidad y confiabilidad de la energía representan un desafío para las partes participantes. Otro problema que enfrenta la industria es el precio y la calidad de los servicios prestados en comparación con el suministrador predeterminado.

El acceso al capital humano también es un punto de débil significativo. Existe una falta de conocimiento y capacidades técnicas requeridas en el mercado, lo que hace que sea significativamente difícil adoptar modelos de negocio innovadores e implementar nuevas tecnologías dentro de los procesos actuales. De hecho, este fue un punto débil identificado en todos los procesos seleccionados, pero se consideró mucho más crítico en este caso debido a la mayor participación y desarrollo requerido por las partes que interactúan. Otros problemas identificados incluyen restricciones regulatorias y burocráticas, que pueden dificultar los procesos de permisos, elevar los costos de instalación y retrasar las inversiones en proyectos atractivos.



Tabla 4.16 - Caso de Uso de un Mercado Descentralizado para Parques Industriales

Mercado Descentralizado para Parques Industriales	
Descripción del caso de uso Un mercado de energía al por mayor para que los participantes dentro del parque industrial compren y vendan energía utilizando una plataforma distribuida para permitir transacciones B2B y compartir información de manera eficiente, transparente y segura.	
 Beneficios <ul style="list-style-type: none"> • Atractivo para los creadores de políticas, ya que es un caso de uso factible con alto impacto social. • Atractivo para las organizaciones privadas debido a la viabilidad, lo que aumenta la disposición a invertir. • Eficiencia en la gestión de múltiples contratos entre participantes. • Ingresos adicionales de DER, que pueden incentivar a las organizaciones a alcanzar los objetivos de sostenibilidad. • Facilita la creación de aplicaciones “plug and play” para dispositivos DER que ingresan datos en el registro. 	 Retos <ul style="list-style-type: none"> • Problemas de privacidad con la información generada por los dispositivos conectados. • Los problemas regulatorios y precios pueden complicar el caso de negocios, reduciendo los incentivos para los posibles participantes. • Certeza regulatoria en el mercado para implementar este tipo de modelos de negocio innovadores. • Demostración de un nuevo ecosistema de participantes dispuestos a desarrollar las soluciones. • El registro DER es un requisito previo para los participantes del mercado descentralizado.

Alianza Energética, 2020

Teniendo en cuenta estos elementos, los expertos propusieron varios casos de uso potenciales de Blockchain para ser considerados en el proceso seleccionado. Un mercado minorista descentralizado para parques industriales para vender el exceso de energía obtuvo la evaluación más alta. También obtuvo la mayor factibilidad entre los tres casos de uso seleccionados, pero a la inversa mostró el menor impacto. Los principales impactos están relacionados con las nuevas fuentes de ingresos de la infraestructura DER, la creación de incentivos para que las organizaciones inviertan en DER y alcancen sus objetivos de sostenibilidad y su atractivo para los responsables políticos debido a los posibles impactos sociales. Se puede ver una alta viabilidad ya que es un caso de uso que se puede implementar entre organizaciones privadas. Esto puede facilitar la configuración de la infraestructura requerida y el registro DER, así como la coordinación general de un ecosistema mínimo viable para probar el caso de uso. Además, las regulaciones existentes permiten la interacción entre generadores y usuarios calificados, proporcionando un marco de referencia claro para desarrollar una solución tecnológica de esta naturaleza.

Blockchain puede habilitar un mercado descentralizado donde los participantes que producen su propia energía a través de DER pueden vender energía directamente a otros actores del ecosistema. Los parques industriales representan un excelente entorno donde las fábricas y las plantas de manufactura tienen altos incentivos para

consumir energía de las plantas de generación privada. Algunos ejemplos incluyen: consumo de energía de fuentes renovables para alcanzar objetivos de sustentabilidad, acceso a energía producida localmente, mayor calidad en servicios proporcionados, mayor flexibilidad al seleccionar sus proveedores de energía y precios más competitivos. Además, su alta viabilidad también lo convierte en un caso de uso atractivo para las organizaciones privadas, lo que aumenta su disposición a invertir.

Tener una plataforma donde los DER pueden interactuar directamente con los consumidores de energía de alta demanda puede proporcionar a los participantes de la red varios beneficios para mejorar el sistema actual. Un mercado mayorista descentralizado entre plantas de generación renovable autorizadas y usuarios calificados es un claro ejemplo. Los parques industriales generalmente instalan este tipo de infraestructura para fines de autoabastecimiento, sin embargo, este caso de uso permitiría generar nuevas fuentes de ingresos vendiendo energía a otros participantes de la red. Por lo tanto, esta aplicación se puede clasificar como una descentralización del mercado con funcionalidades relacionadas principalmente al comercio mayorista / OTC, aunque en las futuras etapas de desarrollo del caso de uso también podría tener altas capacidades de Microred/redes comunitarias.

Otra oportunidad interesante que podría surgir de este caso de uso es la creación de aplicaciones “plug and play”

aprovechando datos valiosos que los dispositivos DER generan constantemente. Las soluciones de este tipo conectarían dispositivos a una plataforma Blockchain, registrando continuamente información relevante que los participantes del mercado pueden usar para agregar valor a lo largo de procesos adicionales de la cadena de valor.

Un ejemplo de aplicaciones descentralizadas alineadas con el caso de uso seleccionado son los mecanismos de incentivos para que los parques industriales consuman energía verde producida localmente, algunas posibilidades son: un registro de auditoría inmutable para que las partes interesadas evalúen los objetivos y logros de sustentabilidad, incentivos fiscales para los participantes que consuman de estos DER, asignación de energía distribuida para DER propiedad de múltiples partes y pagos y liquidaciones automatizados para transacciones de energía al por mayor.

Los principales desafíos que presenta este caso de uso están relacionados con problemas de privacidad. Es posible que los parques industriales y sus participantes no se sientan cómodos al tener información totalmente transparente y abierta sobre sus capacidades de energía y patrones de consumo. Un Blockchain privado puede convertirse en una opción más atractiva para casos de uso de este estilo para evitar problemas de este tipo. Otro desafío es la certeza regulatoria, dado que las partes interesadas buscarán casos de uso factibles desde una perspectiva técnica y legal para inversiones a largo plazo. Por último, es fundamental garantizar un ecosistema mínimo viable en el que los compradores y vendedores de energía estén dispuestos a participar; el caso de uso no tendrá sentido si alguna de las contrapartes no está interesada en participar.

El caso de uso seleccionado está altamente relacionado con otras aplicaciones identificadas que se muestran en el Gráfico 4.10. Este es el caso de los parques industriales que actúan como generadores comunitarios, donde los expertos propusieron que las plantas de generación instaladas dentro de parques industriales pueden proporcionar energía no solo a sus fábricas, plantas y negocios, sino también a las comunidades locales cercanas. Esto podría proporcionar beneficios tales como precios más bajos y una mayor calidad y confiabilidad de la energía para las comunidades, al tiempo que genera un impacto social al incentivar el consumo de energía de fuentes verdes locales.

Otro caso de uso relacionado es la generación comunitaria a través de microrredes. Se sigue una idea similar al caso de uso mencionado anteriormente, solo que aquí la energía no es suministrada por una planta de generación de propiedad privada, sino por comunidades de energía o cooperativas que funcionan dentro de una micro red. En este caso, el flujo del proceso es inverso, ahora es la

comunidad quien actuará como generador a través de granjas compartidas de energía renovable como un medio para autoabastecerse, y el exceso de energía se puede vender a parques industriales cercanos, fábricas y plantas. Ambos casos de uso asociados muestran un mayor impacto debido a los efectos sociales y de sostenibilidad positivos que puede ofrecer. Sin embargo, fueron evaluados con menor factibilidad debido a la falta de un marco regulatorio para este tipo de modelos, costos de configuración de infraestructura y altas barreras de entrada en el mercado.



4.8 Principales Impactos y Cambios para el Sector

En este capítulo se ha ejemplificado a través de múltiples casos de uso internacionales y oportunidades potenciales para el mercado mexicano, mostrando que Blockchain tiene el potencial de tener grandes impactos en el sector energético y generar cambios significativos en la forma en que opera actualmente la industria. Los principales impactos se pueden ver en las tres tendencias principales del sector: descentralización, digitalización y descarbonización.

Descentralización

La naturaleza intrínseca de Blockchain es permitir modelos descentralizados en una amplia gama de industrias, y el sector energético no es una excepción. Esto se logra ofreciendo un mecanismo de confianza alternativo en un ecosistema distribuido, mejorando las interacciones entre las partes de confianza parcial y reduciendo la necesidad de confiar en un tercero de confianza como intermediario. Como se ve en los tres casos de uso seleccionados, y en la mayoría de los ejemplos revisados, las soluciones propuestas tienen como objetivo aumentar la transparencia y la trazabilidad en los procesos que están altamente centralizados en la actualidad, haciéndolos significativamente más eficientes, menos dependientes de la interacción de terceros y altamente confiables a través de un ecosistema distribuido. Además, Blockchain habilita una forma altamente eficiente de integrar la creciente cantidad de DER y dispositivos conectados a la red, lo que será esencial en el desarrollo de un sistema de energía cada vez más complejo y descentralizado.

Digitalización

Blockchain ofrece a los participantes de la red un acceso inmediato y remoto a un registro distribuido de información. Esta base de datos digital crea un registro de procesos rastreables y auditables en Blockchain, que debido a su inmutabilidad y transparencia también se conoce como “Internet de la verdad” o “fuente única de verdad”. Esto permite modelos operativos y de negocio con digitalización nativa al ofrecer una plataforma distribuida donde todos los participantes de la red pueden iniciar, validar o autorizar una amplia gama de interacciones para un proceso específico. Esta idea se refuerza aún más cuando se incorporan funcionalidades de contratos inteligentes en un proceso, lo que permite la automatización a través de reglas programadas de auto ejecución. Estas propiedades hacen de Blockchain una tecnología clave a considerar por las organizaciones en el sector energético para sus estrategias de transformación digital.

Descarbonización

Las características como la transparencia, la trazabilidad y la inmutabilidad también pueden tener un impacto positivo en la transición energética hacia las energías renovables y en el progreso general de los objetivos de descarbonización. El mercado descentralizado CEL / REC es el mejor ejemplo de cómo Blockchain puede influir directamente en este campo al proporcionar un mecanismo más eficiente, transparente y confiable para certificar los atributos de energía que se pueden realizar entre los participantes de la red. Otros casos de uso también

tienen un impacto en la descarbonización al incentivar las inversiones en fuentes de energía renovables, facilitar la adopción de DER, aumentar el consumo de energía verde y democratizar la participación en el mercado para los actores de pequeña escala. Además, el impacto social incluye la reducción de costos para los usuarios finales, una mayor competencia en el mercado y la creación de canales digitales, sin embargo, la transición a la energía limpia sigue siendo el impacto potencial más importante de todos.

Los impactos en las tres tendencias principales significan que la industria también tendrá que enfrentar transformaciones para adoptar con éxito soluciones Blockchain. El primer cambio significativo es la estrecha coordinación de la industria para resolver puntos débiles compartidos, lo que significa que los competidores deberán cooperar para alcanzar un objetivo común. Este concepto se conoce como “Coopetición”, y representa uno de los principales cambios de paradigma que trae Blockchain. Los aspectos clave a considerar en esta fase de transición son la consolidación de un consorcio de la industria Blockchain, la identificación de las prioridades de la industria, el establecimiento de una estructura de gobierno, la definición de un protocolo y la distribución de inversiones entre las partes interesadas. La comunicación clara y el actuar en el momento adecuado son esenciales para adoptar estos cambios.

El segundo cambio a tener en cuenta está relacionado con los marcos regulatorios y los estándares de la industria. Las regulaciones existentes hoy en día no consideran nuevos modelos de negocio basados en tecnologías digitales como Blockchain, por lo tanto, no están preparados para adoptar este tipo de soluciones en el mercado. Al igual que el sector financiero, Blockchain está obligando a los reguladores a reexaminar el marco regulatorio actual en un esfuerzo por incentivar las innovaciones y la adopción de nuevas tecnologías al tiempo que se preserva la estabilidad de la industria al mitigar riesgos significativos que podrían tener un impacto negativo en el mercado. Las regulaciones relevantes no se limitan a las específicas del sector energético, otras regulaciones y estándares importantes incluyen privacidad de datos, ciberseguridad, activos digitales, ALD / CTF y bursatilización.

El cambio final que será necesario para una implementación completa de Blockchain es la modernización de la infraestructura. La infraestructura disponible hoy no está preparada para incorporar tecnologías digitales a gran escala. Asimismo, los sistemas predominantes utilizados por los participantes de la industria están desactualizados y pueden representar una barrera para la adopción

tecnológica. Por lo tanto, todo el sistema requiere una renovación gradual para mejorar las capacidades de recopilación de datos, mejorar las actividades de monitoreo, impulsar el análisis de datos y agilizar los procesos manuales. La modernización debe centrarse primero en puntos críticos específicos de la red que se pueden utilizar para probar las innovaciones tecnológicas. Esto permitirá a los usuarios comprender completamente cómo se activará la integración del sistema en proyectos a gran escala y establecer estándares tecnológicos que garanticen la interoperabilidad con los sistemas industriales predominantes existentes.

4.9 Riesgos y Estrategias de Mitigación

Hay varios riesgos para tener en cuenta al considerar la implementación de un caso de uso de Blockchain en el sector energético. Es importante identificar rápidamente dichos riesgos y desarrollar una estrategia para mitigarlos o minimizarlos. En esta sección se analizarán varios riesgos y se proporcionarán algunas acciones de mitigación.

Para mitigar los riesgos asociados con Blockchain, es importante comprender completamente cómo funciona la tecnología bajo cada circunstancia y bajo el caso de uso en el que se implementa. Además, los individuos dentro de una organización tendrán que desarrollar ciertos hábitos y transformar la cultura para lograr esto. Por ejemplo, preservar una clave privada es un área vulnerable ya que sirve como un mecanismo para acceder a la información en Blockchain. Si se pierde una clave privada, todos los activos dentro de la plataforma Blockchain podrían verse comprometidos si caen en las manos equivocadas, o incluso completamente perdidos si la clave no se puede recuperar. No existe una organización central a la que recurrir para restablecer una clave privada, a diferencia de otros mecanismos de contraseña con los que hoy en día las personas están más familiarizadas.

Inicialmente, existen muchos riesgos asociados con la tecnología en sí. Aunque Blockchain ha sido probado con numerosos casos de uso a nivel global, es probable que continúen surgiendo nuevos riesgos. Un ejemplo comparable es la tecnología en la nube, donde al principio era ampliamente utilizada y confiable por individuos para cargar documentos e imágenes. Sin embargo, los hackers pronto pusieron de manifiesto las vulnerabilidades de este sistema al extraer información confidencial que se había subido, creando conciencia sobre las preocupaciones de ciberseguridad y privacidad entre sus usuarios. La conclusión clave es que los principales riesgos y vulnerabilidades de las nuevas tecnologías generalmente se descubren una vez que se lleva a cabo la adopción masiva, debido al hecho de que los incentivos para explotarlos se maximizan en este punto.

Otro riesgo de Blockchain se encuentra en el uso de contratos inteligentes. Si se programa incorrectamente, o sin considerar ciertos resultados, las reglas de auto ejecución pueden no ejecutarse, en cuyo caso ambas contrapartes pueden verse negativamente afectadas en el resultado final. Se recomienda usar contratos inteligentes solo cuando las condiciones pueden predefinirse fácilmente y en situaciones con resultados predecibles y una baja probabilidad de disputa para una ejecución exitosa.

También hay riesgos específicos en un Blockchain público, donde las decisiones se toman mediante mecanismos de consenso en los que la mayoría de los participantes de la red tienen que validar y autorizar todas las transacciones. Los riesgos asociados a este mecanismo de confianza distribuida surgen si la red se concentra altamente en un grupo de partes interesadas que podrían manipular el resultado de un registro de Blockchain para beneficiarse a expensas de otros participantes. Otros riesgos relacionados con el mecanismo de consenso pueden provenir de participantes poco confiables de la red que participan en malos comportamientos que pueden dañar la red. Otro reto está relacionado con las interacciones pseudo-anónimas que caracterizan las Blockchain públicas, lo que dificulta la identificación de participantes dañinos. Hay muchos protocolos de Blockchain disponibles que intentan abordar estos desafíos de diferentes maneras; elegir una plataforma adecuada para cada caso de uso es clave para minimizar los riesgos asociados al consenso.

El marco regulatorio también podría representar un riesgo. Las regulaciones establecen cómo se pueden usar las tecnologías y qué modelos de negocio se permiten dentro de un espacio determinado. Las regulaciones generalmente están un paso por detrás de la innovación y las nuevas tecnologías, ya que los reguladores primero necesitan entender y ver cómo funciona la tecnología en casos de uso de la vida real para definir un marco correspondiente. Puede ser complicado mitigar las acciones regulatorias, ya que sufren cambios constantes, lo que significa que algo actualmente permitido no necesariamente lo estará en el futuro, y viceversa. La estrecha colaboración y comunicación con los reguladores y las autoridades puede ayudar a mitigar estos riesgos. Su perspectiva dará forma a las decisiones tomadas hacia la implementación de tecnologías disruptivas y nuevos modelos de negocio. El mejor de los casos es que las autoridades tengan una actitud abierta de colaboración y comunicación con el sector privado. En este escenario, el sector privado innova mientras es supervisado por los reguladores, recibiendo comentarios o inquietudes constantes sobre los modelos de negocio propuestos.



Una de las formas más comunes en que el regulador permite la innovación y se involucra en el proceso es a través de la creación de sandboxes regulatorias. Un sandbox es un entorno controlado y seguro en el que las organizaciones pueden innovar mediante la creación de nuevos modelos de negocio que se encuentran fuera de la regulación actual. Este modelo puede beneficiar a la iniciativa privada al proporcionar un espacio libre de riesgos en el que pueden innovar libremente, y las autoridades pueden evaluar el resultado de los modelos propuestos para identificar riesgos adicionales que deben considerarse al adaptar las regulaciones existentes.

Existe un escenario alternativo en el que las autoridades y el sector privado no colaboran entre sí para innovar. En este caso, como comentó Michael Lebbon en una entrevista, se recomienda innovar y diseñar nuevos modelos de negocio bajo el marco regulatorio actual para evitar problemas legales.

Surgen riesgos adicionales durante el proceso de implementación. Las partes interesadas primero deben tener una comprensión clara de cuál es el problema que están tratando de resolver y luego definir si Blockchain es una solución viable. Elizabeth Massey explica que es crucial identificar los problemas que una tecnología puede ayudar a resolver clasificándolos dentro de tres tipos generales: problemas que se conocen, aquellos que se desconocen y finalmente las que se desconoce que se desconocen. Este último puede identificarse a través de pilotos y fases de prueba. Los pilotos también pueden ayudar a identificar riesgos y desafíos relacionados con una nueva tecnología, ayudar a las organizaciones a definir estrategias claras de escala y detectar problemas que puedan surgir al replicar proyectos exitosos internacionales en un contexto local.

Además, hay diferentes tipos de Blockchain con funcionalidades y riesgos específicos que deben evaluarse. Es importante seleccionar el tipo de Blockchain que mejor se adapte a los requisitos del modelo de negocio propuesto. A continuación, una evaluación cuantitativa del valor agregado esperado proporcionará información sobre nuevas fuentes de ingresos, reducciones de costos, racionalización de procesos, acceso a nuevos mercados, inversiones iniciales y otros costos asociados. Esta tarea puede ser bastante complicada debido a la falta de implementaciones exitosas para comparar y a las múltiples partes involucradas en el desarrollo de la solución. Sin embargo, es crítico tener estos puntos claramente definidos para evitar el riesgo de desembolsar inversiones significativas en soluciones no viables.

Incluso cuando una solución Blockchain tiene sentido desde un punto de vista comercial y tecnológico, es importante asegurar una implementación correcta. El talento es un factor clave para este paso, desafortunadamente la experiencia y las capacidades disponibles en México con respecto a la implementación de Blockchain aún son escasas. Además, este proceso es continuo y las personas involucradas necesitarán capacitación constante para estar al día con los avances tecnológicos. También debe haber un equipo designado para supervisar el rendimiento continuo de la solución una vez que ya se ha implementado para garantizar que la tecnología se esté utilizando como debería e identificar fallas en el proceso. Como enfatizó Fernando Vera, CEO de Lumit, aquellos que están en el nivel ejecutivo no entienden completamente que un cambio tecnológico ocurre con el tiempo. Es posible que el retorno no se muestre en los primeros 2 años, lo que hace que la mayoría de los proyectos finalicen antes de que se puedan evaluar resultados tangibles. Otro riesgo es que las tecnologías digitales no se implementan correctamente, este proceso debe ser continuo cuando se trabaja con tecnologías digitales debido a constantes desarrollos e innovaciones.

Por otra parte, existen riesgos asociados específicamente a las implementaciones en la industria energética, ya que es un sector estratégico que tiene un impacto directo en empresas e individuos. Los casos de uso relacionados con el monitoreo de la generación/consumo de energía o la gestión de la red tendrán mayores riesgos operativos que aquellos que buscan proporcionar transparencia y trazabilidad a los atributos energéticos. La razón principal es que una falla en los primeros ejemplos podría tener graves consecuencias negativas, como inestabilidad de la red, apagones o daños en la infraestructura. Para evitar riesgos de este tipo, es recomendable primero desarrollar pilotos a pequeña escala para probar el caso de uso antes de escalarlo a una solución completa a escala del mercado. Aunque un piloto en un entorno a pequeña escala ayudará a identificar varios riesgos y desafíos de una implementación de Blockchain, no es una garantía de que cada riesgo se identificará en dichas pruebas.

La privacidad de los datos y la ciberseguridad también representan un riesgo si no se manejan correctamente. A medida que el mundo se digitaliza cada vez más, los hackers intentan atacar los sistemas digitales. Esta es una preocupación muy relevante para el sector energético, ya que un ataque al sistema eléctrico podría tener efectos negativos en todo un país. Un ejemplo es el ataque a la red eléctrica de Ucrania en diciembre de 2015, cuando una compañía regional de distribución de electricidad

informó a los clientes de interrupciones en el servicio. Los cortes se debieron a una entrada ilegal de terceros en la computadora de la compañía y los sistemas SCADA. Poco después del ataque, los funcionarios del gobierno ucraniano afirmaron que las interrupciones fueron causadas por ciberataques. También ha habido ciberataques en México; en 2019, los sistemas de Pemex fueron hackeados, deshabilitando a la empresa para realizar transacciones y generando fallas en el 5% de las computadoras personales.



Las características de Blockchain no proporcionan una panacea impenetrable para todos los ciberataques. En cambio, al igual que con otras tecnologías, las implementaciones de Blockchain deben incluir controles robustos de seguridad cibernética de sistemas y redes, debida diligencia y control de procesos. Muchos de los atributos de Blockchain, como la inmutabilidad, la descentralización y la trazabilidad, ayudan a minimizar el riesgo de ataques cibernéticos, sin embargo, los perpetradores siempre buscan nuevos métodos para atacar un sistema y es importante que las organizaciones implementen controles para proteger a sus organizaciones de amenazas externas. Hay tres elementos para tener en cuenta al referirse a las inquietudes relacionadas a los datos.

El primero es la confidencialidad, que se refiere a información confidencial que no puede divulgarse a personas o entidades no autorizadas. Hay que asegurar que solo las partes relevantes y autorizadas tengan acceso a los datos correctos y apropiados es una preocupación común para las organizaciones que consideran el uso de Blockchain en la actualidad. Por lo tanto, proteger el acceso a la red de Blockchain es fundamental para asegurar el acceso a los datos (particularmente en el caso de un Blockchain privado).

En segundo lugar, la integridad de los datos, que denota la necesidad de mantener y garantizar que los datos sean precisos, consistentes y confiables durante todo su ciclo de vida. Este es un aspecto crítico para el diseño, implementación y uso de cualquier sistema que almacene, procese o recupere datos. Algunas de las características de Blockchain, como la inmutabilidad y la trazabilidad, ayudan a las organizaciones a mantener la integridad de los datos. El verdadero desafío para Blockchain es garantizar que los datos introducidos sean confiables, ya que no se pueden modificar después. Los sistemas que introducen datos en el registro distribuido deben ser confiables y seguros. Incluso si el Blockchain es altamente seguro, los sistemas que introducen información también pueden estar dañados, por lo tanto, es importante tener parámetros de ciberseguridad en los sistemas que también ingresan datos.

El último factor es la disponibilidad, lo que significa que los usuarios deben estar garantizados a tener acceso confiable a la información dentro del Blockchain. Los ataques cibernéticos que intentan afectar la disponibilidad de servicios tecnológicos continúan aumentando, buscando hacer que un recurso de red no esté disponible para



sus usuarios previstos interrumpiendo los servicios de manera temporal o indefinida. La naturaleza descentralizada y las características paritarias de la tecnología hacen que sea más difícil de alterar que las arquitecturas de aplicaciones distribuidas convencionales (como el servicio de chat a cliente). Incluso si se elimina un nodo, los datos seguirán siendo accesibles a través de otros nodos dentro de la red distribuida. Blockchain es una tecnología relativamente segura con respecto a la disponibilidad, sin embargo, también puede estar sujeta a estos ataques y, como tal, aún son necesarias medidas de protección adecuadas, tanto a nivel de red como de aplicación.

Hay muchos riesgos detrás de la implementación de nuevas tecnologías, sin embargo, también existe un riesgo al optar por no implementarlas. Hemos visto numerosos casos de empresas que no se digitalizaron ni adoptaron nuevas tecnologías debido al miedo, la incertidumbre o el enfoque en otras prioridades comerciales. En muchas ocasiones, estas empresas perdieron relevancia o incluso desaparecieron del mercado. Las empresas que anticipan la adopción de nuevas tecnologías, como Blockchain, pueden beneficiarse de las ventajas de experiencia e innovación al ser pioneros en la industria, sin embargo,

también enfrentarán riesgos significativos y deberán adoptar un proceso de aprendizaje.

La digitalización se está convirtiendo en un requisito cada vez más esencial en el sector energético. El creciente número de participantes y dispositivos continúa aumentando la complejidad del sistema y su necesidad de adoptar nuevas tecnologías para la mejora general de la industria. La descentralización en el sector hace que sea más difícil para los jugadores mantener un seguimiento preciso y rendir cuentas de todo lo que sucede dentro del sistema eléctrico nacional, y Blockchain como tecnología descentralizada puede ayudar a suavizar el camino hacia el mayor número de participantes en el mercado.





5. Consideraciones, Recomendaciones y Conclusiones

5.1 Consideraciones

Las principales tendencias en el sector energético buscan hacerlo más eficiente, sostenible y dinámico; sin embargo, también pueden representar un desafío para los líderes de la industria y las partes interesadas. La digitalización no es algo que ocurre por sí solo, se necesitan esfuerzos en toda la cadena de valor para obtener sus beneficios. Las empresas y organizaciones necesitan invertir en investigación y desarrollo de nuevas tecnologías para explorar cómo podrían agregar valor a sus operaciones. Además, es un desafío mantener precios atractivos y competitivos al mismo tiempo que se invierte en nuevas tecnologías e innovación debido a la alta presencia de productos básicos en la industria. Sin embargo, las compañías de energía deben ver la digitalización como una inversión a largo plazo y comenzar a probar soluciones tecnológicas que las harán más eficientes, reduciendo así los costos operativos y proporcionándoles una ventaja competitiva.

En México existe una cultura de aversión al riesgo para la adopción de nuevas tecnologías, actuando como seguidores en el mercado y esperando que las soluciones se prueben primero en otros países antes de implementarlas localmente. Permitir que otros países experimenten con casos de uso de Blockchain reducirá los riesgos y los costos durante las fases de experimentación y prueba, ya que habrá una guía de referencia para que las partes interesadas decidan dónde las asignaciones de inversión tienen más sentido y qué aplicaciones pueden proporcionar los mejores resultados en el mercado local. También hay desventajas al permitir que otros países lleven a cabo la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías, e incluso podrían superar los beneficios en el caso de Blockchain. Un ejemplo es la incapacidad de retener el talento que está listo para desarrollar soluciones Blockchain, si no hay oportunidades disponibles en su mercado, es probable que busquen en otros países que tienen un ecosistema Blockchain más maduro.

Blockchain no es una tecnología para ser adoptada e integrada por una sola compañía para crear valor, en realidad es una herramienta que requiere una estrecha coordinación y colaboración entre numerosos participantes para crear un ecosistema distribuido en el que una solución pueda prosperar. Los países y actores del mercado que den los primeros pasos para explorar y adoptar esta tecnología serán vistos como una referencia para las soluciones de Blockchain, posicionándose en el centro del

ecosistema y permitiéndoles establecer sus estándares para futuras tendencias y casos de uso. En otras palabras, los jugadores que actúen como seguidores buscarán los estándares de mercado disponibles y los casos de uso, mientras que los primeros serán los que los impongan.

De manera similar a internet, Blockchain crea ecosistemas globales. Los países que adoptan la tecnología en las primeras etapas desarrollarán más conocimiento y capacidades, obteniendo así una ventaja significativa para crear nuevos modelos y soluciones de negocios. Los jugadores del mercado hoy en día no solo están compitiendo a nivel regional, sino también a escala mundial, lo que significa que las ventajas competitivas derivadas de las capacidades de Blockchain pueden posicionar a una organización en todo el mundo y también abrir el acceso a nuevos mercados y canales internacionales. La digitalización es imprescindible para seguir siendo relevante en el sector energético actual, y Blockchain es una tecnología estratégica por considerar durante todo este proceso.

Los desafíos de la digitalización son diferentes para cada tipo de jugador del mercado. Según Kira Potowski, las pequeñas y medianas empresas primero deben pensar en los problemas de supervivencia y luego considerar la innovación y la digitalización. La mayoría de las tendencias y casos de digitalización se están desarrollando en grandes empresas internacionales que, por mandato de su holding, deben digitalizar las operaciones energéticas. Otros actores, como generadores y distribuidores, aún no han visto la implementación de tecnologías digitales para procesos de monitoreo y trazabilidad. En resumen, es más atractivo para las grandes empresas internacionales invertir en tecnologías digitales, ya que pueden aprovechar sus economías de escala para implementarlas en procesos internos y probar nuevos modelos de negocio en diferentes actividades de la cadena de valor.

Otros aspectos clave que los actores del mercado deberán tener en cuenta es la necesidad de colaboración y coinversiones. Algunas partes interesadas pueden ser escépticas de este enfoque, ya que requiere invertir en soluciones que también podrían beneficiar a sus competidores. Sin embargo, una plataforma Blockchain debe verse como una herramienta que puede beneficiar a múltiples participantes de la industria al resolver un problema común al tiempo que aumenta el valor del mercado al crear nuevos canales digitales y reducir las barreras de entrada para los participantes a pequeña escala, de modo que puedan acceder a nuevos clientes y flujos de efectivo que

no estaban disponibles antes. Como señaló Nikolaj Martyniuk, las soluciones Blockchain siguen siendo bastante caras, por lo que tiene sentido implementarlas en un mercado donde varios minoristas o proveedores están interesados en coinvertir para reducir costos y riesgos.

La infraestructura es otro elemento importante que considerar cuando se habla de digitalización. David Ricardo Sol, especialista en datos y automatización industrial en BASF, enfatizó que cuando las organizaciones hablan de digitalización, asumen que ya existe la infraestructura necesaria para habilitar nuevas tecnologías. La realidad es que los puntos de conexión son limitados y es costoso instalar nuevos. Es esencial contar con una infraestructura adecuada para que la implementación de nuevas tecnologías sea factible, considerando que los requisitos pueden variar de una tecnología a otra (e incluso de un caso de uso a otro). En México hay una falta de modernización en ciertas partes de la infraestructura energéticas. Tal es el caso de las líneas de transmisión y distribución, que se instalaron hace muchos años bajo un enfoque de sistema centralizado. Algunos de los nodos ya están saturados, lo que no permite interconexiones rentables para nuevos proyectos.

El marco regulatorio también debe ser examinado al momento de evaluar las estrategias digitales dentro del sector. Este aspecto puede plantear un desafío para la innovación, ya que la industria energética es uno de los sectores más regulados y las regulaciones están sujetas a cambios con el tiempo. Actualmente, el Sector Energético Mexicano está experimentando varios cambios regulatorios. Es importante comprender la dirección que la administración actual está adoptando para el sector en términos regulatorios antes de implementar soluciones Blockchain. Luis Guillermo Pineda, comisionado de la CRE, expresó que el marco regulatorio está cambiando y que los participantes del mercado tendrán que adaptarse a él.

Las nuevas regulaciones también podrían permitir nuevos modelos de negocio. Un ejemplo es una regulación para la generación comunitaria que se está evaluando actualmente. El reglamento ya ha sido aprobado por la CRE, sin embargo, CONAMER aún lo está analizando antes de que se publique en el DOF y se vuelva oficial. Esta regulación será el primer paso para habilitar modelos de negocio entre pares, donde Blockchain podría proporcionar un mercado descentralizado para el comercio de energía. Los casos de uso en los que se necesitan inversiones por parte de los reguladores parecen poco probables en el panorama actual. Las entidades gubernamentales deben operar bajo una política de austeridad sin mucho presupuesto disponible para inversiones en nuevas tecnologías. Sin embargo, es importante involucrar activamente a los

reguladores al proponer una posible solución Blockchain para el mercado.

Antes de implementar Blockchain, las organizaciones deben evaluar su madurez tecnológica para saber si están listas para adoptar esta tecnología. El primer paso es identificar las limitaciones tecnológicas que tiene una organización, así como las limitaciones en términos de conocimiento y capacidades internas. El talento es uno de los principales desafíos cuando se considera una implementación de Blockchain; Los expertos consultados abordaron en repetidas ocasiones la falta de talento con respecto a la digitalización en el sector energético como una barrera, y aún más para el caso de las capacidades de Blockchain. Existe talento disponible para desarrollar sistemas digitales de energía en México, sin embargo, el problema es que los esfuerzos no están integrados y las organizaciones actúan de manera independiente en lugar de colaborar en este complejo proceso.

Al evaluar la madurez tecnológica, las organizaciones también necesitan analizar sus procesos actuales y cómo se ejecutan, qué actores están involucrados, cómo se capturan y almacenan los datos, qué sistemas y API se utilizan y qué regulaciones entran en juego (por ejemplo, privacidad de datos y ciberseguridad). Es importante tener en cuenta la interoperabilidad al considerar la implementación de Blockchain, ya que la plataforma requerirá acceso a la información de los sistemas, dispositivos, API y otras fuentes de datos heredados que alimentarán a Blockchain.

A continuación, se presentan aspectos clave adicionales a considerar para cada uno de los casos de uso seleccionados de la sección 4.7:

Mercado Descentralizado de CEL

Los CEL son un producto conexo que ciertos actores del mercado tienen la obligación de comprar para cumplir con sus objetivos de sostenibilidad. Es importante tener en cuenta que el mercado CEL existe porque los organismos reguladores mexicanos crearon un marco para ellos, definiendo claramente las reglas sobre cómo funcionan según la ley. A la inversa de la energía, un bien que se necesita en el mercado y, por lo tanto, tiene una demanda constante de los usuarios que consumen electricidad, los CEL tienen su demanda establecida por las autoridades. Por lo tanto, los cambios en las regulaciones pueden tener impactos significativos en el mercado de CEL y, en consecuencia, en sus precios.

Actualmente hay una regulación en espera que podría modificar el marco de CEL, estableciendo que las plantas heredadas que operaban antes de 2014 recibirán CEL por

su energía limpia, mientras que originalmente solo las plantas construidas después de 2014 podrían recibir CEL. Potencialmente, esto podría crear un desequilibrio en el mercado al aumentar sustancialmente la oferta, mientras se mantiene el mismo nivel de demanda. Dado que el precio de los CEL se define por la economía de la oferta y la demanda, este aumento podría dar lugar a una caída de los precios, lo que a su vez reduciría los incentivos para invertir en energías renovables.

Los CEL son productos altamente regulados en un sector altamente regulado, lo que los hace extremadamente dependientes del marco regulatorio. Es importante considerar los posibles cambios en las regulaciones, las prioridades establecidas por las autoridades dentro de



este espacio y la dirección del mercado en términos regulatorios al analizar las oportunidades para el mercado de CEL con tecnología Blockchain.

Registro de Datos e Información para la Ejecución de Contratos

El mercado de PPA tiene más independencia que el mercado de CEL en términos de regulaciones, ya que son acuerdos bilaterales entre organizaciones privadas para comprar una cierta cantidad de energía durante un cierto período de tiempo, lo que proporciona más libertad en cuanto a cómo se llevan a cabo y se ejecutan estos acuerdos. Una consideración importante es que una plataforma Blockchain para gestionar contratos, como PPA, necesitará el involucramiento y la participación de múltiples jugadores para que realmente agregue valor al sistema actual. Algunas funcionalidades dentro del caso de uso, como el mercado secundario, las reglas de aplicación predefinidas y los acuerdos contractuales no tienen mucho sentido si no hay una masa crítica suficiente en la plataforma para permitir un ecosistema distribuido.

El principal desafío radica en convencer y coordinar a todos los actores relevantes para que se unan a la plataforma propuesta y para que puedan coinvertir con el objetivo de resolver un problema compartido por la industria. Para que esto suceda, la estrategia de comunicación y presentación de casos de uso es de gran importancia, tiene que estar orientada hacia una perspectiva de comercial en vez de tecnológica, enfocándose en el modelo de negocio y sus principales beneficios para que las partes interesadas ganen interés en la solución.

Mercado Minorista Descentralizado para Parques Industriales.

El sector energético actualmente está experimentando varias modificaciones regulatorias, es importante comprender las implicaciones que estas regulaciones pueden tener en la infraestructura de DER. Actualmente, el gobierno está evaluando la modificación de ciertas regulaciones de la “Ley de la Industria Eléctrica” que podrían resultar en afectaciones a este caso de uso y el desarrollo de infraestructura Recursos Energéticos Distribuidos (DER) en general. Aunque es difícil saber cómo será el marco regulatorio en un corto, mediano y largo plazo, es importante tener en cuenta que continuará sufriendo cambios que podrían representar oportunidades y desafíos para las soluciones de esta naturaleza.

Otros casos de uso relacionados identificados incluyen parques industriales que venden el exceso de energía a comunidades locales y/o cooperativas de energía que actúan como generadores para abastecer parques indus-

triales. Para que esto sea posible, dos cosas tendrían que suceder. Para el primer caso, el generador deberá constituirse como proveedor básico y la comunidad que compra energía como un usuario calificado; este último es actualmente una restricción para este caso de uso. También hay algunos desafíos con respecto a los costos y precios, ya que el suministro básico de CFE subsidia altamente las tarifas de energía. En el segundo escenario, la comunidad o cooperativa energética debería estar autorizada para generar y vender energía a usuarios calificados, lo que requiere un marco regulatorio que aún no está disponible. Sin embargo, hay planes para incluir este modelo en las regulaciones mexicanas.

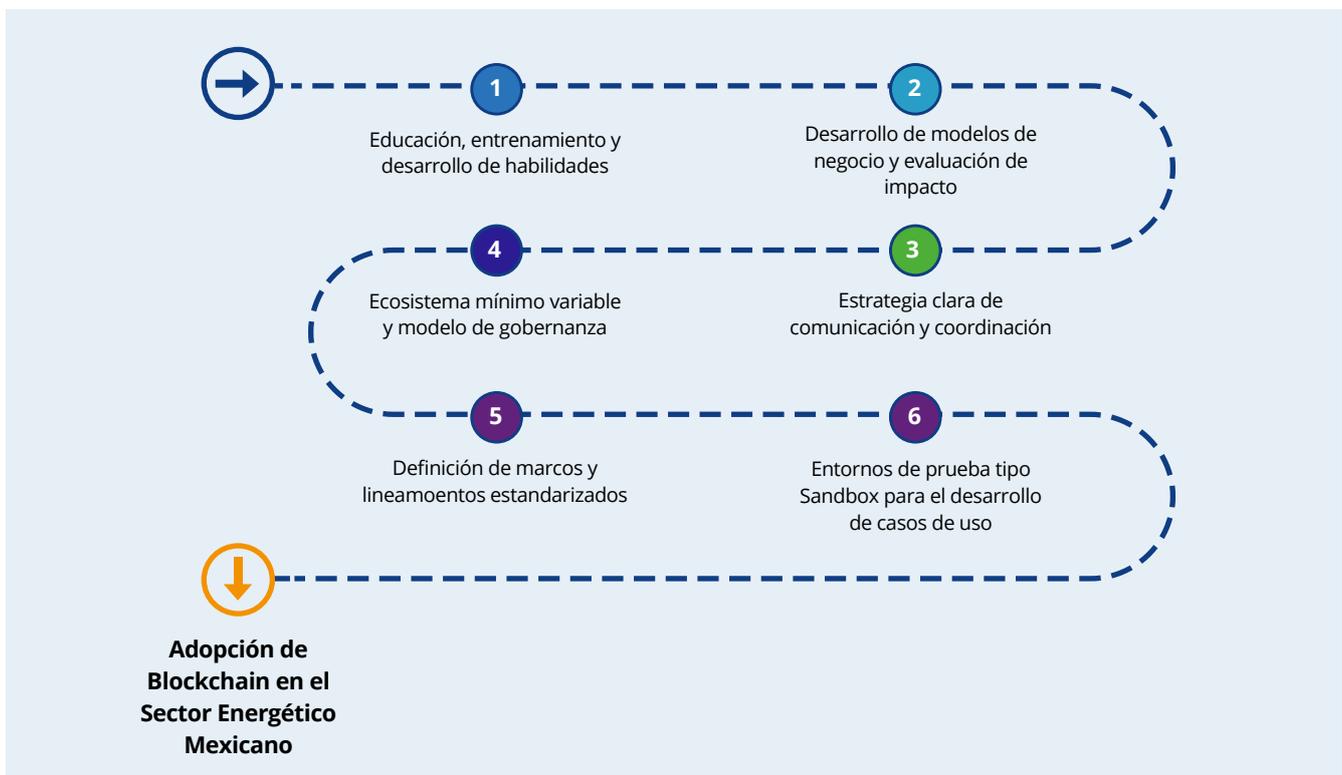
5.2 Recomendaciones

La adopción de Blockchain en toda la industria es una tarea abrumadora, con muchos factores a considerar al construir una estrategia. Tener varias partes involucradas requiere un enfoque de múltiples ángulos, teniendo

en cuenta las perspectivas técnicas, comerciales y regulatorias. Por lo tanto, los líderes de la industria deben definir un conjunto claro de elementos clave de acción y los primeros pasos necesarios para establecer el escenario para la adopción de Blockchain. Esta sección tiene como objetivo proporcionar un conjunto de recomendaciones para impulsar Blockchain en el Sector Energético Mexicano.

Expertos tanto del sector energético como de la tecnología Blockchain señalaron varias acciones importantes a tener en cuenta al diseñar una estrategia para toda la industria. Todas las aportaciones se analizaron y resumieron en 6 pasos, que se muestran en el gráfico 5.1. Las siguientes recomendaciones no se enfocan en implementar instantáneamente soluciones de Blockchain disponibles comercialmente en el mercado, sino más bien en sentar las bases requeridas para un ecosistema Blockchain en el que los casos de uso reales con alto impacto realmente puedan prosperar.

Gráfico 5.1 – Recomendaciones para la Adopción de Blockchain



Alianza Energética, 2020

Educación, Entrenamiento y Desarrollo de Habilidades

Como se mencionó repetidamente a lo largo de los procesos de consultas, entrevistas y talleres realizados con expertos, el mercado requiere educación y capacitación para desarrollar los conjuntos de habilidades y capaci-

dades requeridas para una adopción de Blockchain en la industria. De hecho, el 75% de los expertos consultados identificaron la falta de habilidades y comprensión como una de las cinco barreras principales para adoptar Blockchain dentro del sector energético. Este resultado no solo lo posiciona como la barrera más mencionada, sino también como la más crítica, siendo clasificada

como la principal restricción por el 30% de los encuestados. Teniendo esto en cuenta, la educación se considera el primer paso clave en la adopción de Blockchain para el sector energético.

La capacitación no será la misma para todos los participantes involucrados en estas iniciativas, el nivel de profundidad y conocimiento técnico variará según el rol asignado dentro de la estrategia Blockchain. Al igual que otras tecnologías, no es necesario que todos los interesados comprendan la tecnología subyacente junto con conceptos complejos para la implementación. La mayoría de los participantes requerirán una conciencia a nivel ejecutivo de Blockchain que les permitirá identificar áreas de valor para aplicar la tecnología, mientras que el desarrollo de la solución en sí requerirá capacitación y habilidades técnicas. Algunos ejemplos de perfiles que deben recibir una formación ejecutiva y conceptual incluyen tomadores de decisiones, especialistas en digitalización e innovación, consultores legales y comerciales, gerentes de proyectos, propietarios de productos, representantes de desarrollo, analistas de investigación, reguladores y formuladores de políticas. Por otro lado, se requerirán altas habilidades técnicas y de desarrollo para roles como ingenieros de Blockchain, arquitectos, desarrolladores, científicos de datos y profesionales de ciberseguridad.

Desarrollo de Casos de Negocios y Evaluación de Impacto

Una vez que los participantes comprendan la tecnología, junto con las herramientas y habilidades necesarias para identificar áreas de oportunidad para Blockchain, se deben evaluar los casos de uso potenciales. El objetivo será proporcionar a los interesados la información necesaria para identificar los costos, ingresos, impactos sociales, riesgos y beneficios asociados. El primer paso para desarrollar una evaluación de impacto y un caso de negocios para el caso de uso seleccionado es mapear el estado futuro con una solución de Blockchain.

El caso de negocio debe incluir un análisis de retorno de la inversión (ROI), donde las organizaciones calificarán un caso de uso específico desde una perspectiva de costo-beneficio. Un impacto en los ingresos mostrará nuevos y mejorados flujos de ingresos derivados del modelo de negocio propuesto y la habilitación de nuevos canales digitales. Este análisis también puede incluir los impactos del ahorro en costos, la reducción del consumo de capital, el acceso a nuevos mercados, la reducción de pérdidas y una mayor eficiencia.

Posteriormente, un impacto en los costos evalúa las inversiones iniciales requeridas para implementar el caso de uso, incluida la configuración de la infraestructura, las integraciones de sistemas, los desarrollos tecnológicos,

el acceso al capital humano requerido, el cumplimiento normativo y la transformación empresarial. Este análisis proporcionará información comercial a las partes interesadas para las decisiones de inversión.

Paralelamente, una evaluación de impacto proporcionará información adicional más allá de un enfoque puramente comercial. Esta evaluación se basa en un estado futuro propuesto en el que se revisa el modelo operativo objetivo, proporcionando aportes críticos de los impactos esperados para un caso de uso seleccionado. Esta evaluación ayuda a medir otros factores que pueden ser más relevantes para los reguladores, los encargados de formular políticas, los operadores y los usuarios finales al proporcionar información sobre los impactos que tendrá desde un punto de vista social, económico, regulatorio, de sostenibilidad y político. Una herramienta utilizada comúnmente en la evaluación de proyectos es la Tasa Interna de Retorno (TIR), una métrica utilizada para estimar la rentabilidad de las inversiones haciendo que el valor presente neto de un determinado proyecto sea igual a cero. Además, la descarbonización a través de incentivos para el consumo de energía verde y los impactos sociales positivos al aumentar la competencia en el mercado y la reducción de costos para los usuarios finales también se pueden tener en cuenta en esta evaluación.



Estrategia de comunicación y coordinación clara

Incluso una solución de Blockchain con alto impacto para la industria y una fuerte viabilidad para la implementación puede fallar si no incorpora a los participantes necesarios para que se produzcan los efectos de red. En otras palabras, si la solución no logra coordinar suficientes jugadores relevantes para unirse a la red, no se lograrán los beneficios esperados y los impactos generales. Es por esta razón que se vuelve extremadamente importante diseñar una estrategia de comunicación que describa claramente las necesidades del mercado que está tratando de resolver, junto con sus beneficios, ventajas, riesgos y desafíos asociados.

La comunicación con los reguladores, las autoridades y los responsables políticos es esencial en este proceso. Las organizaciones privadas deben poder transmitirles las necesidades de la industria y explicar cómo las soluciones Blockchain podrían ayudar a abordarlas. Esto se puede hacer mostrando casos de uso exitosos a nivel internacional como punto de referencia para lo que podría implementarse en el mercado local. Este esfuerzo se complementará con investigación y desarrollo enfocados específicamente al Sector Energético Mexicano y pruebas a pequeña escala en un entorno controlado para comprender cómo se podría implementar el caso de uso considerando factores locales importantes. Los reguladores primero requerirán una clara comprensión de la tecnología y de cómo puede ayudar a resolver una necesidad compartida de la industria al tiempo que genera impactos sociales y económicos. Solo entonces considerarán

modelos operativos y de negocio basados en Blockchain, junto con la adopción necesaria de los marcos regulatorios para respaldarlos.

Ecosistema Mínimo Viable y Modelo de Gobernanza

Tener jugadores clave interesados y líderes de la industria a bordo de una posible solución Blockchain no es suficiente, se debe establecer un ecosistema mínimo viable para probar si las interacciones previstas entre los participantes con diferentes intereses y objetivos son de hecho factibles y sostenibles. El objetivo de configurar este ecosistema es formar una versión simplificada de un ecosistema futuro altamente complejo donde los participantes puedan aprender y colaborar activamente. Una de las tareas más importantes de este ecosistema es la definición de un organismo de gobernanza para futuras aplicaciones en la industria.

En consecuencia, la creación de un consorcio industrial de Blockchain con actores del mercado interesados es un enfoque inicial para establecer los objetivos generales de la adopción de Blockchain, al tiempo que ofrece un entorno para pilotos y pruebas. Además, una iniciativa de consorcio ofrecerá un espacio para que las partes involucradas se organicen hacia un objetivo compartido definiendo las prioridades de la industria, seleccionando el liderazgo para esta iniciativa y diseñando el cuerpo de gobernanza de Blockchain. Los aspectos clave que debe decidir el consorcio, en colaboración con los reguladores, es el grado de descentralización de la red al elegir entre un Blockchain público o privado y establecer reglas de accesibilidad en caso de optar por un modelo autorizado.



Definición de Marco Regulatorio y Lineamientos Estandarizados

Passar a implementaciones de Blockchain en la industria requerirá normas y lineamientos para que los participantes las sigan. Un punto de partida para lograr esto es identificar las mejores prácticas internacionales del proceso específico para desarrollar marcos regulatorios locales y/o regionales, así como establecer lineamientos tecnológicos que faciliten la integración de software y hardware para los participantes. Una vez más, este paso requerirá una alta participación y aportes de los reguladores y las autoridades relevantes para desarrollar los estándares industriales requeridos a favor de todos los participantes. Adicionalmente, los interesados deberán comprender completamente y tener en cuenta la dirección que está tomando la política energética mexicana para alinear sus objetivos y centrarse en soluciones viables.

Ambientes Sandbox y Entornos de Prueba

El paso final recomendado es establecer un entorno cerrado y controlado donde los casos de uso de Blockchain se puedan diseñar, desarrollar y probar para comprender completamente el modelo de negocio propuesto junto con los beneficios, impactos, riesgos y desafíos asociados que podrían surgir al escalarlo. Ser capaz de probar casos de uso antes de una implementación a gran escala ayudará a los jugadores a comprender la tecnología a través de soluciones básicas que pueden resolver problemas específicos. Como mencionó Juan Roberto Lozano Maya, es recomendable probar aplicaciones iniciales en procesos internos y técnicos, previo al lanzamiento de soluciones no probadas que puedan llegar a tener un impacto directo en el mercado.

Un entorno Sandbox también es extremadamente útil para que los reguladores y los encargados de formular políticas comprendan los modelos comerciales de Blockchain. La mejor manera para que los reguladores entiendan esta tecnología es a través de la creación de sandboxes regulatorias, donde las organizaciones privadas pueden probar soluciones bajo supervisión reguladora en un entorno controlado, proporcionando información valiosa para que los reguladores adopten las estructuras necesarias para fomentar la adopción de Blockchain. Esto también mejorará la comunicación sobre las necesidades del mercado, soluciones innovadoras y tendencias prominentes de la industria. Una alternativa a un sandbox regulatorio es que las organizaciones privadas establezcan voluntariamente entornos de prueba donde puedan demostrar casos de uso para informar los impactos sociales y los beneficios de toda la industria a los reguladores para que puedan evaluar en qué aplicaciones están interesadas.

Los seis pasos revisados no necesariamente deben verse como un proceso lineal, sino más bien como pautas generales que los líderes de la industria pueden usar al diseñar su estrategia de Blockchain, así como para otras iniciativas de transformación digital que se estén considerando. Estas recomendaciones se centran en objetivos a corto y mediano plazo, con el propósito de sentar bases sólidas para que los proyectos a largo plazo tengan éxito y puedan maximizar su potencial.

5.3 Conclusiones

La digitalización debe entenderse como un proceso en el que la integración y la implementación de tecnologías digitales dentro del sistema energético deben ir de la mano con la transición energética. La adopción de energías renovable, infraestructura DER, baterías, dispositivos inteligentes y fuentes de energía alternativas en el mercado mexicano deben complementarse con nuevas tecnologías que permitan a la industria avanzar hacia la descarbonización y descentralización del sistema. El sector energético continúa enfrentando retos importantes y es a través de los avances tecnológicos y herramientas innovadoras como AI, IoT, análisis de datos, computación en la nube y Blockchain que la industria podrá superarlos.

Dichos desafíos también van acompañados de tres tendencias clave en la industria: digitalización, descentralización y descarbonización. Los esfuerzos en estas áreas son esenciales para la evolución continua de la industria debido a los cambios significativos que enfrenta actualmente. La digitalización, por ejemplo, es crucial para lograr reducciones de costos, optimizar los procesos, mejorar la gestión de datos, optimizar las fuentes de ingresos y mejorar la coordinación en un sistema energético cada vez más complejo. La descentralización, por otro lado, proporciona múltiples beneficios para el sector energético, incluida la habilitación de la infraestructura DER, el aumento en la competencia del mercado, reducción en los precios para los usuarios finales, la mejora en la flexibilidad de la red y en el acceso a fuentes de energía renovables y locales. Finalmente, la descarbonización es una prioridad de la industria que continúa presionando a las partes interesadas para lograr los objetivos de sostenibilidad y cambio climático. La transición energética requiere grandes esfuerzos centrados en estos tres pilares fundamentales para tener éxito, y los participantes del mercado deben aprovechar el uso de tecnologías digitales como Blockchain durante este proceso.

Además de los desafíos que enfrenta el sector energético a nivel internacional, México tiene obstáculos adicionales que superar, específicos de su contexto local. Una barrera importante para la adopción de tecnologías digitales es la



prevalencia de infraestructura obsoleta en toda la cadena de valor de la energía, lo que representa un problema para las organizaciones que desean probar o implementar soluciones digitales en el mercado. Otro caso es la falta de capital humano con el talento y las habilidades necesarias para participar en una estrategia de transformación digital; hay talento disponible en el mercado mexicano, sin embargo, los esfuerzos en la industria no están integrados y no existe una estrategia clara para organizar a los participantes del mercado. El último desafío está relacionado con la incertidumbre del mercado en términos regulatorios y políticos. Este aspecto requiere lineamientos y normas claras a lo largo del proceso de toma de decisiones de los actores clave que buscan oportunidades para invertir y desarrollar soluciones tecnológicas en el Sector Energético Mexicano.

A pesar de estos desafíos, es fundamental mantener las tendencias del mercado como una prioridad estratégica tanto a nivel industrial como a nivel organizacional. Blockchain es una tecnología estratégica por considerarse dentro de las iniciativas de transformación digital en todo el sector energético dado su impacto potencial en las 3 tendencias principales. Sus características subyacentes, como la transparencia, la trazabilidad, la inmutabilidad y la confianza distribuida, pueden ofrecer a los líderes de la industria funcionalidades interesantes que vale la pena evaluar al desarrollar nuevos modelos de negocios o soluciones tecnológicas para superar desafíos específicos.

Blockchain se considera una tecnología disruptiva debido a sus características y beneficios potenciales en múltiples industrias, pero este no es el caso para el sector energético. En lugar de un disruptor, debe percibirse como un facilitador para acelerar la disrupción. Los líderes de la industria y las partes interesadas deben comprender que el factor principal que realmente está transformando al sector es la transición energética en sí, junto con la creciente cantidad de datos y la complejidad que se está introduciendo en el sistema. Teniendo esto en cuenta, Blockchain es una excelente herramienta para superar barreras significativas de coordinación, la trazabilidad, la transparencia y la descentralización.

Aunque Blockchain ha visto avances significativos en los últimos años, todavía se considera una tecnología en desarrollo que se encuentra en un proceso de maduración. Ha ganado importancia en múltiples campos, donde los casos de uso más avanzados se encuentran en campos como criptomonedas y pagos, banca y finanzas, seguros, cadena de suministro e identidades digitales. El sector de la energía es una de las muchas industrias que ha mostrado un interés creciente en los últimos años, explorando aplicaciones que buscan explotar su natu-

raleza descentralizada a través de modelos de tokenización, contratos inteligentes y la creación de ecosistemas distribuidos.

También es importante señalar que esta tecnología ha experimentado varios eventos a lo largo de su ciclo de vida que han generado dudas y escepticismo entre las partes interesadas. Ejemplos claros incluyen fallas de criptomonedas, fraudes de ICO, volatilidad del mercado y una respuesta regulatoria poco clara de las autoridades. Un aspecto igualmente importante que considerar es que Blockchain puede ofrecer una amplia gama de oportunidades que van más allá de la tendencia publicitaria y la atención focalizada de marketing que han causado expectativas excesivas de esta tecnología. En este sentido, Blockchain ha superado una fase de desilusión que ha calmado las expectativas del mercado. Por lo tanto, ya no se percibe como un remedio universal que se puede aplicar en cualquier situación, sino como una herramienta útil que se puede usar en ciertas circunstancias para resolver problemas específicos.

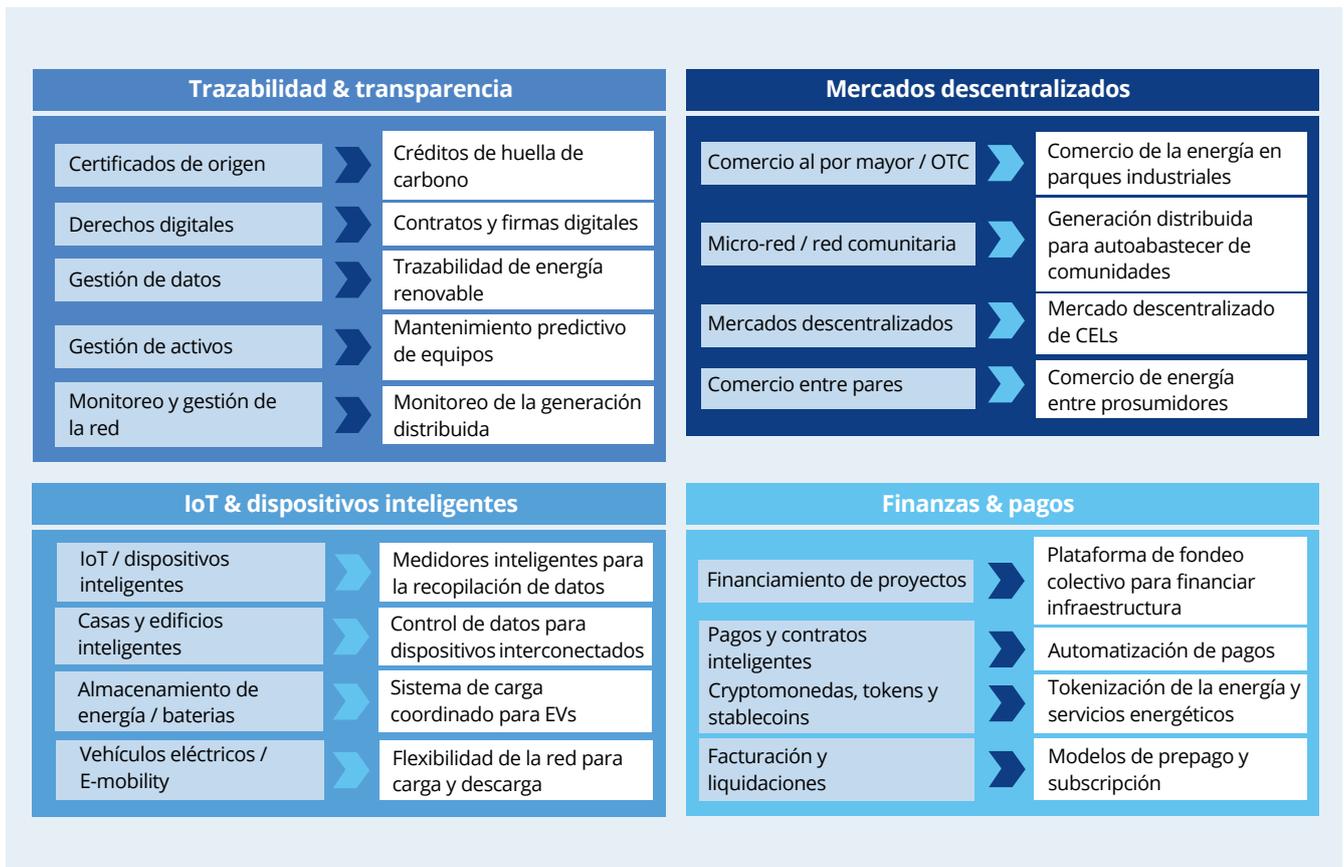
Para aprovechar todo el potencial de Blockchain, los líderes de la industria deben tener varios aspectos presentes antes de pasar a las fases de prueba y desarrollo. Un aspecto clave es un cambio de paradigma en la forma en la que se lleva a cabo la colaboración en la industria. Una solución Blockchain tiene más sentido cuando hay varias partes involucradas y los beneficios se maximizan cuando se crea un ecosistema distribuido. Aunque existen beneficios individuales tangibles para las organizaciones que adoptan esta tecnología, es necesario sentar las bases para que una solución Blockchain de toda la industria prospere en el mercado. Algunos ejemplos incluyen: colaboración cercana con competidores (“cooperación”), esfuerzos bien coordinados entre los interesados y conversiones de actores relevantes. Esto se puede lograr mediante el establecimiento de un consorcio nivel industria de Blockchain, donde cada actor asume un papel específico, las prioridades de la industria están claramente establecidas y se define el liderazgo para las iniciativas de Blockchain. El objetivo es facilitar la coordinación para desarrollar una solución que brinde beneficios e impactos positivos a todos los participantes involucrados.

Además, Blockchain no debe verse como una solución uniforme para todos. Hay diferentes variantes disponibles en términos de privacidad, seguridad, descentralización, escalabilidad y velocidad de transacción. Estas características están definidas por el modelo de arquitectura, la estructura de gobernanza de la red y el mecanismo de consenso utilizado, que estará definido por el objetivo principal de la solución y el propósito general del registro distribuido. Esta definición es uno

de los principales retos a la hora de diseñar una aplicación basada en Blockchain; los expertos se refieren a ella como el trilema de Blockchain: es necesario encontrar el equilibrio adecuado en términos de seguridad, escalabilidad y descentralización; un aumento en dos de los tres elementos requerirá un sacrificio en el restante. Por lo tanto, los líderes de la industria en el sector de la energía tendrán que evaluar y priorizar estas características, eligiendo dos como los principales impulsores de la solución y dejando el tercero en el segundo término.

También hay riesgos importantes a tener en cuenta al calificar los casos de uso de Blockchain. Inicialmente, una organización debe centrarse en los casos de uso que realmente tienen sentido, existe un amplio malentendido en el mercado de esta tecnología, lo que puede dar lugar a inversiones sustanciales en una solución que está destinada al fracaso. Otra área de riesgo está asociada a las evaluaciones de costo-beneficio cuando se construye un caso de negocio, ya que puede ser difícil identificar un valor agregado cuantificable y un ROI debido a la información de referencia limitada en otros proyectos e iniciativas. Además, otros riesgos a considerar incluyen: vulnerabilidades en un mecanismo de consenso que puede dar lugar a comportamientos dañinos de los participantes en la red; incertidumbre regulatoria para ciertos modelos de negocio; falta de talento especializado y capacidades internas para proyectos de implementación de Blockchain; inquietudes sobre privacidad de datos y seguridad cibernética; y, por último, altas barreras industriales debido a la alta naturaleza estratégica del sector energético.

El sector energético ya ha comenzado a explorar el uso de la tecnología Blockchain. Existen varios proyectos e iniciativas a nivel internacional que ya están probando la tecnología a través de pilotos y soluciones a pequeña escala en diferentes puntos de la cadena de valor, con el objetivo de encontrar casos de uso prominentes y demostrar aplicaciones exitosas. Los modelos de negocio basados en Blockchain identificados para el sector energético se pueden clasificar en los siguientes 4 grupos, junto con sus correspondientes subcategorías:

Gráfico 5.2 – Categorización de Modelos de Negocio Basados en Blockchain

Alianza Energética, 2020

Existen ciertos modelos de negocio que actualmente ofrecen los casos de uso más prominentes y factibles a nivel internacional, principalmente debido al nivel de madurez de la tecnología Blockchain y el ecosistema de mercado para fomentar este tipo de soluciones. La certificación de origen es posiblemente la aplicación más avanzada gracias al alto interés del mercado y las bajas barreras regulatorias y de infraestructura. El comercio mayorista parece ser la subcategoría con mayor impacto en las oportunidades a corto plazo, dado que este tipo de modelos de negocios ya se consideran en el marco regulatorio mexicano, Blockchain solo serviría como una plataforma digital para facilitar este proceso.

Los modelos de negocio de Finanzas y Pagos también están altamente desarrollados dentro del espacio de Blockchain, sin embargo, existen crecientes preocupaciones desde las perspectivas regulatorias y de riesgo, lo que complica la adopción de algunos casos de uso de esta categoría. En consecuencia, las soluciones de facturación y liquidación muestran una alta viabilidad ya que se implementan a través de procesos internos, lo que permite a las organizaciones beneficiarse de varias funcionalidades de Blockchain al tiempo que mitiga los riesgos del mercado y evita la incertidumbre regulatoria. Finalmen-

te, los modelos de negocio asociados a IoT y dispositivos inteligentes han visto una menor penetración en el mercado dado que IoT también se considera una tecnología madura. Sin embargo, esta categoría es clave para el desarrollo de futuros casos de uso, dado que las subcategorías encontradas aquí actuarán como facilitadores para soluciones más complejas que irán surgiendo.

Teniendo en cuenta esta información, junto con la experiencia, los aportes y las perspectivas de expertos en el sector energético y la tecnología Blockchain, se han identificado tres áreas de oportunidad clave específicamente para el Sector Energético Mexicano. El primer caso es un mercado descentralizado de CEL donde se presenta información relevante sobre los certificados de energía limpia, lo que permite a los actores del mercado tener un registro claro de la generación de energía limpia y al mismo tiempo permite a las contrapartes intercambiar CEL a través de plataformas digitales. En segundo lugar, el registro de los datos y la información para la ejecución de contratos, lo que permite a los usuarios aprovechar los datos disponibles a través de las funciones inteligentes del contrato para ejecutar automáticamente ciertas condiciones predefinidas, como los pagos y liquidaciones en los acuerdos de PPA. Por último, está el mercado mi-

norista descentralizado para parques industriales, donde una plataforma digital permite a los jugadores dentro de un parque industrial comprar y vender energía a través de un mercado digital de energía mayorista de manera eficiente, transparente y segura.

Las organizaciones privadas deben colaborar estrechamente con el sector público al diseñar este tipo de casos de uso para que ganen fuerza. Los reguladores y las autoridades juegan un papel fundamental para desbloquear el potencial de Blockchain al establecer el marco regulatorio que podría impulsar o desalentar la adopción de esta tecnología. Es fundamental comunicar claramente los beneficios e impactos en la industria que ofrece cada caso de uso. Esto se puede hacer a través de entornos limitados o entornos de prueba privados donde las organizaciones privadas pueden probar y evaluar casos de uso, que luego se pueden mostrar a los reguladores. Esto ayudará al sector público a comprender los beneficios y riesgos que ofrece una solución, brindándoles la información necesaria para hacer adaptaciones a los marcos regulatorios existentes, incentivando y acelerando la innovación en el sector.

En resumen, Blockchain debe concebirse como una herramienta que ofrezca características tales como transparencia, trazabilidad, inmutabilidad y confianza distribuida para resolver puntos débiles específicos. Solo debe considerarse bajo ciertos escenarios en los que realmente tiene sentido someterse a una implementación a gran escala. Cada caso individual debe evaluarse por separado para determinar si Blockchain es una solución adecuada. Además, otras tecnologías como IoT, Data Analytics y AI también deben formar parte de esta evaluación, ya que Blockchain rara vez ofrecerá altos impactos y beneficios por sí sola. Blockchain es una tecnología estratégica a tener en cuenta al diseñar estrategias para avanzar hacia la digitalización, la descentralización y la descarbonización; sin embargo, cada caso de uso debe evaluarse y probarse exhaustivamente antes de implementar soluciones de calidad en el mercado.





6. Bibliografía

6.1 Fuentes Primarias

Expertos de GIZ en el sector energético, en la digitalización y en tecnología Blockchain.

Expertos de KPMG en energía, transformación digital y tecnología Blockchain.

Contribuciones de expertos líderes de la industria en el sector energético y la tecnología Blockchain mediante encuestas, entrevistas individuales y talleres.

6.2 Fuentes Secundarias

Técnicas y Conceptuales

Allende, M. (2008). Cómo desarrollar confianza en entornos complejos para generar valor de impacto social. Washington, DC, USA. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo.

Aiim. (2020). Intelligent Information Management Glossary. Maryland, EUA. Obtenido de Aiim Sitio web: <https://www.aiim.org/What-is-Robotic-Process-Automation#>

Bakker Elkhuizen. (2020). What are virtual and augmented reality? Vugth, Países Bajos. Obtenido de Bakker Elkhuizen Sitio : <https://www.bakkerelkhuizen.com/knowledge-center/what-are-virtual-and-augmented-reality/>

Cámara de Diputados (2018). Ley para regular las instituciones de tecnología financiera. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LRITF_090318.pdf

GE Digital. (2019). Digital Twin, Digitize assets and processes to enable better industrial outcomes. California, EUA. Obtenido de General Electric Sitio Web: <https://www.ge.com/digital/applications/digital-twin>

GlobalData Energy. (2019). Power utilities are placing their trust in robotics, reveals GlobalData. Reino Unido. Obtenido de Power technology Sitio Web: <https://www.power-technology.com/comment/power-utilities-are-placing-their-trust-in-robotics-reveals-globaldata/>

Hertz-Shargel, B. & Livingston, D. (2019). Assessing Blockchains Future in Transactive Energy. Washington D.C., EUA Obtenido de Atlantic Council, Global Energy Center.

International Energy Agency. (2017). Digitalisation and Energy. París, Francia. Obtenido de International Energy Agency Sitio Web: <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>

KPMG US. (2016). Consensus: Immutable agreement for the Internet of value. Nueva York, EUA. Obtenido de KPMG

Microsoft Azure. (2019). What is cloud computing? Washington, EUA. Obtenido de Microsoft Sitio web: <https://azure.microsoft.com/en-in/overview/what-is-cloud-computing/#uses>

Mougayar. W. (2016). The Business Blockchain: Promise, Practice, and Application of the Next Internet Technology. Nueva Jersey, EUA.

Muykim, C. (2020). The Internet of Things (IoT): The Network of Networks. Phnom Penh, Camboya. Obtenido de Cambodia Development Center Sitio web: http://cd-center.org/wp-content/uploads/2020/02/P127_20200210_V2IS1.pdf

Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. Obtenido de Sitio page: <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper>

Nhede, N. (2019). Blockchain in energy market to reach \$3 billion by 2025. Ciudad del Cabo, Sudáfrica. Obtenido de Smart Energy International Sitio web: <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/energy-grid-management/Blockchain-in-energy-market-to-reach-3-billion-by-2025/#:~:text=Blockchain%20in%20the%20>

Secretaría del Interior. (2019). Disposiciones de Carácter General aplicables a las Instituciones de Crédito e Instituciones de Tecnología Financiera en las Operaciones que realicen con Activos Virtuales. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5552303&fecha=08/03/2019

Swan, M. (2015). Blockchain: Blueprint for a New Economy. Estados Unidos de América: O´Reilly Media Inc.

Tapscott, D. & Tapscott, A. (2016). Blockchain Revolution: How the Technology behind Bitcoin is Changing Money. Estados Unidos de América: Portfolio.

Tariq, S., Affzal, R & Zia, A. (2015). Transformer Failures, Causes & Impact. Bali, Indonesia. Obtenido de International Conference Data Mining Sitio web: http://iieng.org/images/proceedings_pdf/8693E0215039.pdf

Vigna, P. & Casey, M. (2015). The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and the Blockchain are challenging the Global Economic Order. Estados Unidos de América: New York Times.

Mercado Energético Mexicano

Alexandri, R., Rodríguez, F., Ángeles, A., García, E. & Ramírez, T. (2018). Ciudad de México, México. Prospectiva del sector eléctrico 2018 - 2032. Obtenido de Secretaría de Energía Sitio web: https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PSE_18_32_F.pdf

Alexandri, R., Villanueva, E., Muñozcano, L., Rodríguez, F., Rodríguez, J., Ramírez, A., Ángeles, A., García, E. & Ramírez, T. (2018). Prospectiva de Energías Renovables. Ciudad de México, México. Obtenido de Secretaría de Energía Sitio web: https://base.energia.gob.mx/Prospectivas18-32/PER_18_32_F.pdf

Bancomext (2019), México, Lugar 14 de Países con Más Inversión en Energía Renovable. Ciudad de México, México. Obtenido de Bancomext Sitio web: <https://www.bancomext.com/notas-de-interes/25160>

Beltrán, L., Villanueva, E., Muñozcano, L., Rodríguez, J., Ramírez, M., Portepetit, A., Ramírez, A., Rocha, D., Avila, D., Lourdes, M., Rangel, R. & Ramones, F. (2018). Reporte de avance de energías limpias. Ciudad de México, México. Obtenido de Secretaria de energía de México Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/418391/RAEL_Primer_Semestre_2018.pdf

Cámara de Diputados. (2014). Ley de la industria Eléctrica. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf

CENACE. (2017). ¿Quiénes Somos? Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.cenace.gob.mx/paginas/publicas/cenace/quienessomos.aspx#:~:text=El%20Centro%20Nacional%20de%20Control,y%20a%20las%20Redes%20Generales%20de>

CRE. (2016). Preguntas Frecuentes sobre los Certificados de Energías Limpias. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/cre/articulos/preguntas-frecuentes-sobre-los-certificados-de-energias-limpias>

CRE (2018). La CRE aprueba reglas que detonarán la instalación de electrolineras y FIBRAS. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/cre/prensa/la-cre-aprueba-reglas-que-detonaran-la-instalacion-de-electrolineras-y-fibras?idiom=es>

CRE. (2019). Evolución de Contratos de pequeña y Mediana Escala / generación Distribuida. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/483322/Estadisticas_GD_2019-1.pdf

Hernández, A. (2018), Autosuficiencia energética de México no se dará a corto plazo: AMLO. Ciudad de México, México. Obtenido de El Financiero Sitio web: <https://elfinanciero.com.mx/nacional/cfe-generara-competencia-con-proveedores-de-energia-para-abaratar-tarifas-lopez-obrador>

INEGI (2019), Datos de México. Ciudad de México, México. Obtenido de INEGI Sitio web: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

Limón, A. (2019). Diagnóstico de costos de congestión en la Red Nacional de Transmisión. Ciudad de México, México. Obtenido de CIEP Sitio web: <https://ciep.mx/diagnostico-de-costos-de-congestion-en-la-red-nacional-de-transmision/>

Padilla, A., Chávez, I., García, D., Hernández, G. & Rosalgel, S. (2019). Energías Renovables: Construyendo un México Sustentable. Ciudad de México, México. Obtenido de BANCOMEXT Sitio web: https://www.bancomext.com/wp-content/uploads/2019/01/Libro-Bancomext_Energias-Renovables.pdf

Subsecretaría de Electricidad. (2014). CONTRATOS LEGADOS PARA EL SUMINISTRO BÁSICO. Ciudad de México, México. Obtenido de SENER Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/258356/Nota_explicativa_contratos_legados.pdf

Secretaría de Energía. (2015). Explicación ampliada de la Reforma Energética. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/sener/documentos/explicacion-ampliada-de-la-reforma-energetica>

SENER. (2016). Programa Nacional Para Aprovechamiento Sustentable de la Energía. México. Obtenido de SENER Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/185047/PRONASE_2016OdB04112016concomentarios_CCTE_0812116CSVersion_Finalcomprimida.pdf

Secretaría de Energía. (2019). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional PRODESEN 2019-2033. Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/475503/PRODESEN_indice.pdf

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2018). ¿Qué son las energías renovables? Ciudad de México, México. Obtenido de Gobierno de México Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/que-son-las-energias-renovables?idiom=es>

Mercados y estadísticas

Barontini, C., Holden, H. (2019). Proceeding with caution – a survey on central bank digital currency. Basilea, Suiza. Obtenido de Banco de Pagos Internacionales Sitio web: <https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap101.pdf>

IRENA. (2019). Renewable Energy Statistics 2019, Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos. Obtenido de The International Renewable Energy Agency.

Kaggle. (2017). Kaggle ML & DS Survey A big picture view of the state of data science and machine learning. California, USA. Obtenido de Kaggle Sitio web: <https://www.kaggle.com/kaggle/kaggle-survey-2017>

Ritchie, H. & Roser, M. (2019). CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Oxford, Inglaterra. Obtenido de Our World in Data Sitio web: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Casos de referencia

Boucher, P. (2017). How Blockchain technology could change our lives; Bruselas, Bélgica. Obtenido de Servicios de Estudios del Parlamento Europeo: Scientific Foresight Unit (STOA). Sitio Web: <https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/>

IDAN/2017/581948/EPRS_IDA(2017)581948_EN.pdf

Emmi. (2018). The greatest source of systemic risk to global capital markets is climate change. Melbourne, Australia.

Obtenido de Emmi Sitio web:
emmi.io

Energy Web . (2019). Blockchain: TEO (The Energy Origin) is the first application to migrate onto the Energy Web Chain. Zug, Suiza. Obtenido de Energy Web Sitio web:
<https://www.energyweb.org/2019/09/19/blockchain-teo-the-energy-origin-is-the-first-application-to-migrate-onto-the-energy-web-chain/>

Energy Web. (2019). EW-DOS: The Energy Web Decentralized Operating System An Open-Source Technology Stack to Accelerate the Energy Transition. Berlín, Alemania. Obtenido de Energy Web Sitio web
<https://www.energyweb.org/wp-content/uploads/2019/12/EnergyWeb-EWDOS-VisionPurpose-vFinal-20200309.pdf>

Folk, E. (2019). How IoT is Transforming the Energy Industry. Dakota, EUA. de Renewable Energy Magazine Sitio web:
<https://www.renewableenergymagazine.com/emily-folk/how-iot-is-transforming-the-energy-industry-20190418>

Ghosh, A., Rhodes, Y., Ternullo, S. & Caron, K. (2020). Harnessing technology convergence to manage climate change. Nueva York, EUA. Obtenido de KPMG US Sitio web:
<https://advisory.kpmg.us/content/dam/advisory/en/pdfs/2020/kpmg-harnessing-tech-convergence-manage-climate-change.pdf>

GuildOne. (2019). ConTracks: GuildOne's Smart Contract Engine. Calgary, Canadá. Obtenido de Guildone Sitio web:
<https://guild1.co/contracts-smart-contract-engine-on-blockchain/>

Heredia, D. & Reyes, A. (2014). Robótica aplicada al sector eléctrico. Ciudad de México, México. Obtenido de Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias Sitio web:
<https://www.ineel.mx/boletin042014/divulga.pdf>

International Energy Agency (2017), Digitalization & Energy. París, Francia. Obtenido de International Energy Agency Sitio web:
<https://webstore.iea.org/download/direct/269>

International Energy Agency (2019), Global EV Outlook 2019. París, Francia. Obtenido de International Energy Agency Sitio web:
https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global_EV_Outlook_2019.pdf

IOTA. (2019). Opening Data For Smarter Communities. Berlín, Alemania. Obtenido de IOTA Sitio web:
<https://www.iota.org/solutions/smart-city>

IRENA. (2019). Innovation landscape brief: Utility-scale batteries. Abu Dabi, UAE. Obtenido de International Renewable Energy Agency.

IRENA. (2019). IRENA Innovation Landscape 2019. Abu Dabi, UAE. Obtenido de IRENA web page:

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_2019_report.pdf

IRENA. (2019). Finance & Investment. Abu Dabi, UAE. Obtenido de IRENA web page:
<https://www.irena.org/financeinvestment>

KPMG International. (2016). Missing link: Navigating the disruption risks of Blockchain. Obtenido de KPMG International KPMG International (2018), Blockchain and the future of finance: A potential new world for CFOs – and how to prepare. Obtenido de KPMG International
<https://home.kpmg/sg/en/home/insights/2016/11/missing-link-navigating-the-disruption-risks-of-blockchain.html>

Lumit. (2019). Cincel. Ciudad de México, México. Obtenido de Lumit Blockchain web page:
<https://www.cincel.digital/>

Lumit. (2017). Soluciones Blockchain para México y LATAM.

Ciudad de México, México. Obtenido de Lumit Blockchain web page:

<https://www.lumitblockchain.com/language/es/>

Main, D. (2019). Developers community update: IOTA & +CityxChange. Berlín, Alemania Obtenido de IOTA Sitio web:
<https://blog.iota.org/iota-cityxchange-community-update-85f43894bcca>

Peter, V., Paredes, J., Rosado, M., Soto, E. & Hermosilla, D. (2019). Blockchain meets Energy. Ciudad de México, México. Obtenido de German-Mexican Energy Partnership (EP) and Florence School of Regulation (FSR) Sitio web:
https://fsr.eu.europa.eu/wp-content/uploads/Blockchain_meets_Energy_-_ENG.pdf

Phineal. (2013). Tecnología inspirada en la naturaleza. Santiago, Chile. Obtenido de Phineal Sitio web:
<https://www.phineal.com/>

Richard, P., Mamel, S. & Vogel, L. (2019). Blockchain in the integrated energy transition. Berlín, Alemania. Obtenido de Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) Sitio web:
https://effizienzgebaeude.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-Studie_Blockchain_Integrierte_Energiewende_EN2.pdf

R3. (2019). Customers Energy. Nueva York, EUA. Obtenido de R3 Sitio web:
<https://www.r3.com/customers/energy/>

Siemens. (2019). e-ing3ni@ Platform. Madrid, España. Obtenido de Siemens Sitio web:
<https://new.siemens.com/global/en/company/topic-areas/energy-transition/e-ingenia.html>

Statista. (2018). Size of the Blockchain technology market worldwide from 2018 to 2025. Hamburgo, Alemania. Obtenido de Statista Sitio web:
<https://www.statista.com/statistics/647231/worldwide-blockchain-technology-market-size/>

United Nations. (2015). Paris Agreement. París, Francia. Obtenido de United Nations Sitio web:
https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf

Uruguay Presidencia. (2019). Uruguay cuenta con 98 % de energía renovable y redujo emisiones de gases de efecto invernadero. Montevideo, Uruguay. Obtenido de Uruguay Presidencia Sitio web:
<https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/ministra-eneida-de-leon-en-sesion-de-naciones-unidas-reduccion-gases-efecto-invernadero#:~:text=Uruguay%20cuenta%20con%2098%20%25%20de%20energ%C3%ADa%20renovable%20y%20redujo,de%20gases%20de%20efecto%20invernadero>

WePower. (2017). The easiest way to buy green energy directly from producers and reach your energy sustainability goals. Vilna, Lituania. Obtenido de WePower Sitio web:
<https://www.wepower.com/>

Wynn, G. (2018). Power-Industry Transition, Here and Now Wind and Solar Won't Break the Grid: Nine Case Studies. Cleveland, EUA. Obtenido de Institute for Energy Economics and Financial Analysis Sitio web:
https://ieefa.org/wp-content/uploads/2018/02/Power-Industry-Transition-Here-and-Now_February-2018.pdf

Wynn, G. (2018). A Renewable Energy Revolution in Uruguay for All the World to See. Cleveland, EUA. Obtenido de Institute for Energy Economics and Financial Analysis Sitio web:
<https://ieefa.org/ieefa-update-a-renewable-energy-revolution-in-uruguay-for-all-the-world-to-see/>

