

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
ESCUELA DE POSGRADO



**Roadmap de la Implementación de la Tecnología Blockchain en el Proceso
de Facturación del Consumo de Energía Eléctrica**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGÍSTER
EN GERENCIA DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN OTORGADO
POR LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

PRESENTADA POR

Luis Alberto, Barrantes Martinez, DNI: 06799631

Edwin, Capcha Guzmán, DNI: 43134108

Jose Arturo, Huamán La Rosa, DNI: 15724934

Miguel Angel, Tupac Yupanqui Bustamante, DNI: 42885771

ASESOR:

Ludmila Volodina Egorovna, DNI: 09958313

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4016-4942>

JURADO

Juan O'Brien Cáceres

Hobber Aristides Siccha Ayvar

Ludmila Volodina Egorovna

Surco, julio 2022

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito proponer el diseño de una hoja de ruta para la incorporación de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación para el consumo eléctrico. Para el logro de este objetivo, se realizó una investigación aplicada, con el enfoque cualitativo y alcance descriptivo-propositivo. La técnica de recolección de la información fue la entrevista aplicada a profesionales de TI y del sector de energía eléctrica; para ello se empleó como instrumento a una guía de entrevista semiestructurada de 22 preguntas con previa validación por el juicio de expertos, obteniendo el coeficiente el V de Aiken mayor de 0.89 para todos los ítems de la guía. Se hizo la categorización y el análisis de la data cualitativa obtenida, se diseñó la arquitectura de aplicaciones de la empresa de energía eléctrica y la integración de *blockchain* y se elaboró la propuesta de una hoja de ruta para la implementación de *blockchain* en el proceso de facturación de una empresa de energía eléctrica a base del conocimiento empírico y la experiencia de los participantes, considerando el nivel de madurez tecnológica actual y los factores de éxito, internos y externos. El marco del trabajo de la propuesta de hoja de ruta se basa en 4 dimensiones i) procesos de negocio, normativa y reglamentación legal del sector, ii) los sistemas informáticos, iii) la infraestructura tecnológica y iv) la capacidad de recursos humanos; y contiene 34 actividades organizadas en función a la prioridad y la capacidad de la empresa en el horizonte de 5 a 10 años. Con el resultado de esta investigación, la empresa obtiene una herramienta de Gestión de Tecnologías de Información, para identificar, evaluar y seleccionar la alternativa tecnológica desde una perspectiva del corto, mediano y largo plazos y que puedan hacer viable la adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación de una empresa de distribución de electricidad.

Palabras clave: *Blockchain, roadmap, Smart meters, seguridad, fiabilidad, energía eléctrica, sector energético.*

Abstract

The purpose of this research was to provide a design proposal for a roadmap for the incorporation of *blockchain* technology in the billing process for electricity consumption. To achieve this objective, applied research was carried out, with a qualitative approach and a descriptive-propositional scope. The information collection technique was the interview applied to IT professionals and the electric power sector; For this purpose, a semi-structured interview guide with 22 questions was used as an instrument with prior validation by expert judgment, obtaining the Aiken's V coefficient greater than 0.89 for all the items in the guide. The analysis of the qualitative data obtained was carried out, the application architecture of the electric power company and the integration of *blockchain* were designed; and the proposal of a roadmap for the implementation of *blockchain* in the billing process of an electric power company was elaborated based on the empirical knowledge and experience of the participants, considering the current level of technological maturity and the success factors, internal and external. The work framework of the roadmap proposal is based on 4 dimensions i) business processes, regulations and legal regulations of the sector, ii) computer systems, iii) technological infrastructure and iv) human resource capacity; and contains 34 activities organized according to the priority and the capacity of the company in the horizon of 5 to 10 years. With the result of this research, the company obtains an Information Technology Management tool, to identify, evaluate and select the technological alternative from a short-, medium- and long-term perspective and that can make the adoption of *blockchain* technology viable in the billing process of an electricity distribution company.

Keywords: *Blockchain, roadmap, Smart meters, security, reliability, electric power, energy sector.*

Índice

Introducción	7
Objetivos de la investigación	18
Limitaciones	20
Capítulo II: Antecedentes	21
Capítulo III: Marco Teórico	34
El sector de distribución de energía en el Perú y sus principales conceptos	34
La Tecnología <i>Blockchain</i> y sus Principales Características	36
El uso de la hoja de ruta (roadmap) para planificar el futuro	43
Los modelos de adopción de tecnologías	45
Capítulo IV. Metodología	47
Caracterización de la investigación	47
El proceso de la investigación	48
Consideraciones éticas	56
Capítulo V: Resultados	58
Capítulo VI: Discusión de los Resultados	75
Capítulo VII: Conclusiones	81
Referencias Bibliográficas	83

Lista de tablas

Tabla 1. Tendencia, investigaciones, patentes y mercados <i>blockchain</i> según CONCYTEC.....	23
Tabla 2. Matriz de la operacionalización de las variables de la investigación.....	49
Tabla 3. Validez y Confiabilidad de las preguntas del cuestionario.....	53
Tabla 4. Principales atributos de calidad que deben cumplir las aplicaciones	66



Lista de figuras

Figura 1. Principales Procesos de una empresa de electricidad	11
Figura 2. Valorización de los procesos operativos	12
Figura 3. Proceso actual de Facturación del Consumo de Energía Eléctrica - AS IS	13
Figura 4. Marco de investigación y relación entre factores y casos de uso... ..	26
Figura 5. Roadmap del Programa de Redes Inteligentes del Ecuador... ..	33
Figura 6. Perú: hogares con acceso al servicio de energía eléctrica mediante red pública, 2011 - 2018	35
Figura 7. Espectro de <i>blockchain</i> de Gartner.....	41
Figura 8. Modelo de escalabilidad de <i>blockchain</i> de Gartner.....	42
Figura 9. Arquitectura de hoja de ruta tecnológica generalizada.....	44
Figura 10. Proceso de Investigación... ..	48
Figura 11. Mapa de las actividades para el logro de Objetivo Especifico 1	51
Figura 12. Mapa de las actividades para el logro de Objetivo Especifico 2	54
Figura 13. Mapa de las actividades para el logro de Objetivo Especifico 3	55
Figura 14. Arquitectura de aplicaciones de la empresa de energía eléctrica y la integración de <i>blockchain</i>	62
Figura 15. Proceso Facturación del Consumo de Energía Eléctrica – TO BE	65
Figura 16. Esquema general de elaboración del roadmap... ..	68
Figura 17. Roadmap de la integración de la tecnología <i>blockchain</i> en una empresa de electricidad.....	69
Figura 18. Roadmap de la integración de la tecnología <i>blockchain</i> en una empresa de electricidad – Actividades.....	70

Introducción

Actualmente, por más que se reconocen la diversidad y las diferencias entre las industrias, los sectores, las empresas y otras organizaciones, también se acepta que todos ellos se encuentran en el mismo contexto tecnológico y científico, caracterizado, ante todo, por el desarrollo de nuevas tecnologías aglomeradas bajo el concepto de la cuarta revolución industrial, que, a su vez, está fuertemente asociada con la automatización y la transformación digital. Estas dos corrientes actuales, en su combinación sinérgica, están cambiando, de manera disruptiva, la forma cómo las entidades se enfrentan a los desafíos relacionados con la conexión y la comunicación entre procesos, productos y personas inmersos en sus actividades, además de resolver los problemas de coexistencia del mundo físico y el mundo digital. En pocas palabras, se están presenciando los cambios trascendentales en los modelos de negocios. La introducción de las tecnologías innovadoras, como la Inteligencia Artificial (IA), el Internet de las Cosas (IoT), la Analítica de Datos, *blockchain*, entre otras, no solamente puede mejorar significativamente la eficiencia en generar servicios de valor agregado y diferenciadores de la competencia, sino también puede dinamizar diferentes industrias y mercados, generando cambios paradigmáticos en todas las disciplinas, economías e industrias con impactos sumamente significativos.

En caso particular de la industria peruana de energía eléctrica, principalmente en el sector de distribución, los desafíos son múltiples y es necesario que el suministro de electricidad sea suficiente, confiable, seguro y competitivo, actualmente y en el futuro. Por estas razones se requiere que todos los sectores de la industria se desarrollen en forma articulada y con claros incentivos para que la oferta y la demanda sean sostenibles en el tiempo. (Osinergmin, 2016, p. 14)

Así mismo, el Perú, en su posición de Estado miembro de la ONU, adoptó también los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que buscan “poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030” (PNUD, 2021). Específicamente, en relación a los desafíos del sector energético y de la electricidad, dado que la energía eléctrica es una pieza fundamental para el desarrollo del país, porque es un insumo esencial para la producción de bienes y servicios y un componente básico en la creación de bienestar y calidad de vida, el ODS 7 establece el compromiso de garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Al mismo tiempo, la transición energética digital también da origen a nuevos retos, tales como la recolección, el almacenamiento, la divulgación y el procesamiento de datos energéticos, lo cual es particularmente importante para la aceptación de la transición energética por la sociedad, así como para la justicia social. Este compromiso implica que el mismo Estado, todas las empresas y la sociedad civil en general, involucrados en el sector energía, deben conducir esfuerzos alrededor de estos objetivos, implementando iniciativas y proyectos para lograr las metas propuestas. En este sentido, el Estado peruano, en conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), realiza el seguimiento de metas e indicadores para lograr estos objetivos desde la plataforma digital creada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) denominada “Sistema de monitoreo y seguimiento de los indicadores de los objetivos de desarrollo sostenible”¹. En este sentido, uno de los indicadores del ODS 7 está orientado a “...ampliar la infraestructura y mejorar las tecnologías para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos los países en desarrollo...”²

¹ Sistema de monitoreo y seguimiento de los indicadores de los objetivos de desarrollo sostenible <http://ods.inei.gob.pe/ods/objetivos-de-desarrollo-sostenible>

² ídem

En este nuevo escenario, la información y su empleo constituyen el mayor activo de las organizaciones y, por ende, el uso de los datos es lo que marcará claramente la diferencia entre una buena y una mala gestión empresarial, donde la capacidad de la empresa o institución en saber recolectar, procesar, almacenar, visualizar e interpretar la información y los datos del negocio es clave y factor crítico de éxito en el ambiente de negocios altamente competitivo.

Al igual que otros activos, la información tiene un valor estratégico y operativo y para propiciar la mejor toma de las decisiones a todos los niveles empresariales, la información debe ser: actualizada, relevante, oportuna y confiable. Como consecuencia, estos datos deben ser protegidos ante posibles pérdidas, exposición de la privacidad, violaciones de la seguridad y otros riesgos. Este es el contexto en el que debe verse la tecnología *blockchain*. Por ser un sistema de información, de naturaleza descentralizada, es una manifestación tecnológica de la digitalización, un protocolo de información y un registro descentralizado de información. Se caracteriza por propiedades específicas de seguridad, inmutabilidad, transparencia, robustez y la participación de múltiples actores. Esta capacidad de la tecnología basada en *blockchain* tiene especial relevancia en la industria de la energía y electricidad que está pasando por un periodo de grandes cambios desde “la incorporación de nuevas plantas eléctricas no convencionales, el surgimiento del almacenamiento de energía y el crecimiento tecnológico del sector...” (Quirós-Toros et al., 2020) hasta la implementación de redes eléctricas inteligentes que incrementarían la eficiencia del sector eléctrico y, a largo plazo, se implementaría una infraestructura de medición avanzada con la participación activa de los usuarios y la interconexión con fuentes de energía renovable no convencional (eólica, solar, biomasa, entre otras), lo que representa a la vez un gran reto en lo que a seguridad de los datos se refiere. En este contexto, *blockchain* se presenta como una tecnología habilitadora.

Muchos expertos de la industria de energía alrededor del mundo predicen que las tecnologías *blockchain* serán las principales habilitadoras para la transición hacia una industria más moderna, en la que se van a realizar transacciones más precisas y rápidas; también reconocen que se debe experimentar e innovar más en el uso de esta tecnología para tener claro su real potencial (Luke et al., 2018).

La cadena productiva de la energía está compuesta por cuatro fases claramente identificadas por su funcionamiento operativo:

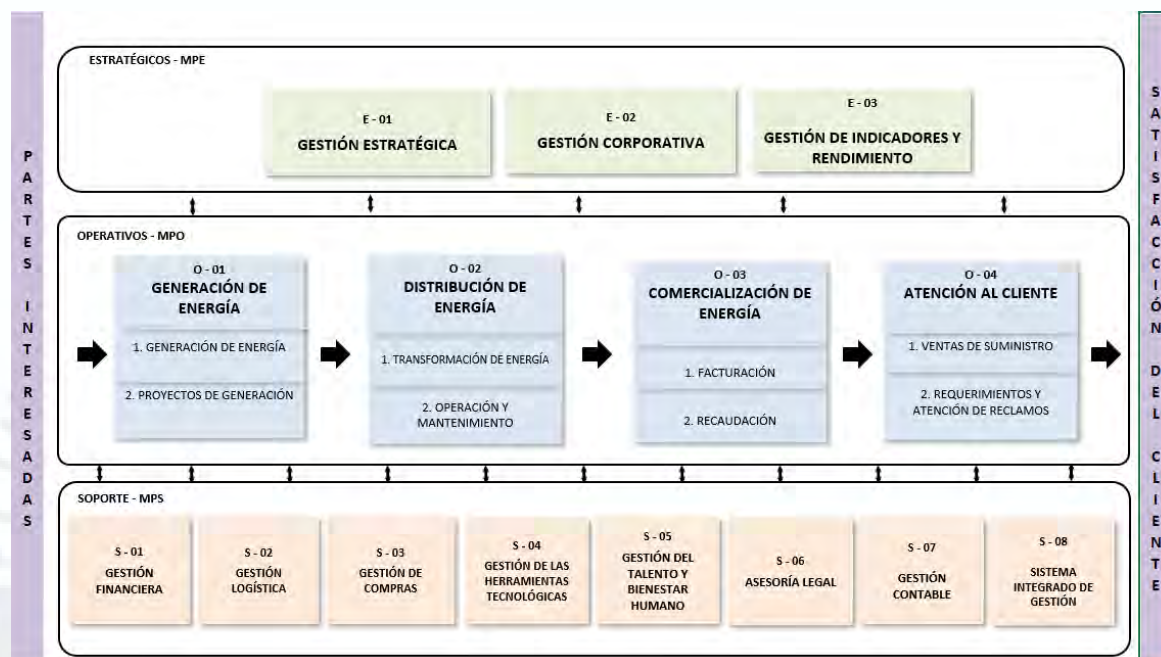
- Generación eléctrica (se encarga de transformar las fuentes de energía primaria en energía eléctrica),
- Transmisión eléctrica (permite transportar la electricidad desde los centros de generación hacia las zonas de consumo final; se transporta energía eléctrica a altos niveles de tensión y a largas distancias),
- Distribución eléctrica (se traslada electricidad hacia los consumidores finales mediante redes eléctricas de mediana y baja tensión),
- Comercialización (su función está vinculada a la entrega de electricidad desde la generación hasta el usuario final y se divide en comercialización mayorista (entre generadores y distribuidores) y minorista (con los usuarios regulados del servicio).

Los principales procesos operativos en las empresas de electricidad están enfocados en la i) la generación de energía, que involucra la generación misma y los nuevos proyectos de generación ii) la distribución de energía, que involucra la transformación de la energía y en la operación y mantenimiento; iii) la comercialización de energía, que involucra la facturación y la recaudación y, finalmente, en la iv) atención al cliente, que incluye los subprocesos de centro de contacto y los requerimientos y atención de incidencia. A la vez la empresa de

distribución cuenta con procesos estratégicos y de soporte, como se puede observar en la figura 1.

Figura 1

Principales procesos de una empresa de electricidad



En el Perú, la comercialización minorista se encuentra, a la fecha, integrada al segmento de distribución eléctrica, que, por su naturaleza, se caracteriza por la presencia del monopolio natural, explicado por las situaciones donde es más eficiente que una sola empresa suministre un bien o servicio en un mercado determinado, caracterizada por la existencia de costos medios decrecientes en determinado rango de la demanda; Por esta razón es necesaria la intervención del Estado, a fin de evitar que las empresas abusen de su posición dominante en el mercado, estableciendo tarifas elevadas o brindando una calidad de servicio menor al óptimo social (Osinermin, 2016). En caso peruano, la supervisión del proceso de facturación del consumo de energía eléctrica de los usuarios residenciales, comerciales o industriales es responsabilidad de Osinermin, cuya actividad se rige por Norma de opciones Tarifarias y Condiciones de Aplicación de las tarifas al usuario final, aprobada mediante Resolución de Osinermin N° 206-2013-OS/CD.

Al realizar la valoración para determinar cuál de los procesos operativos es el más idóneo para aplicar la tecnología *blockchain*, que se caracteriza por su importancia y criticidad, fue el de proceso de facturación el que obtuvo la mayor valorización según los criterios para adoptar *blockchain* propuestos por Pedersen et al. (2019): i) importancia en la generación de productos y/o servicios, ii) importancia para el logro de la estrategia fijada, iii) múltiples partes involucradas, iv) partes involucradas tienen conflicto/problemas de confianza v) necesidad de un registro inmutable, como se puede observar en la siguiente figura 2.

Figura 2

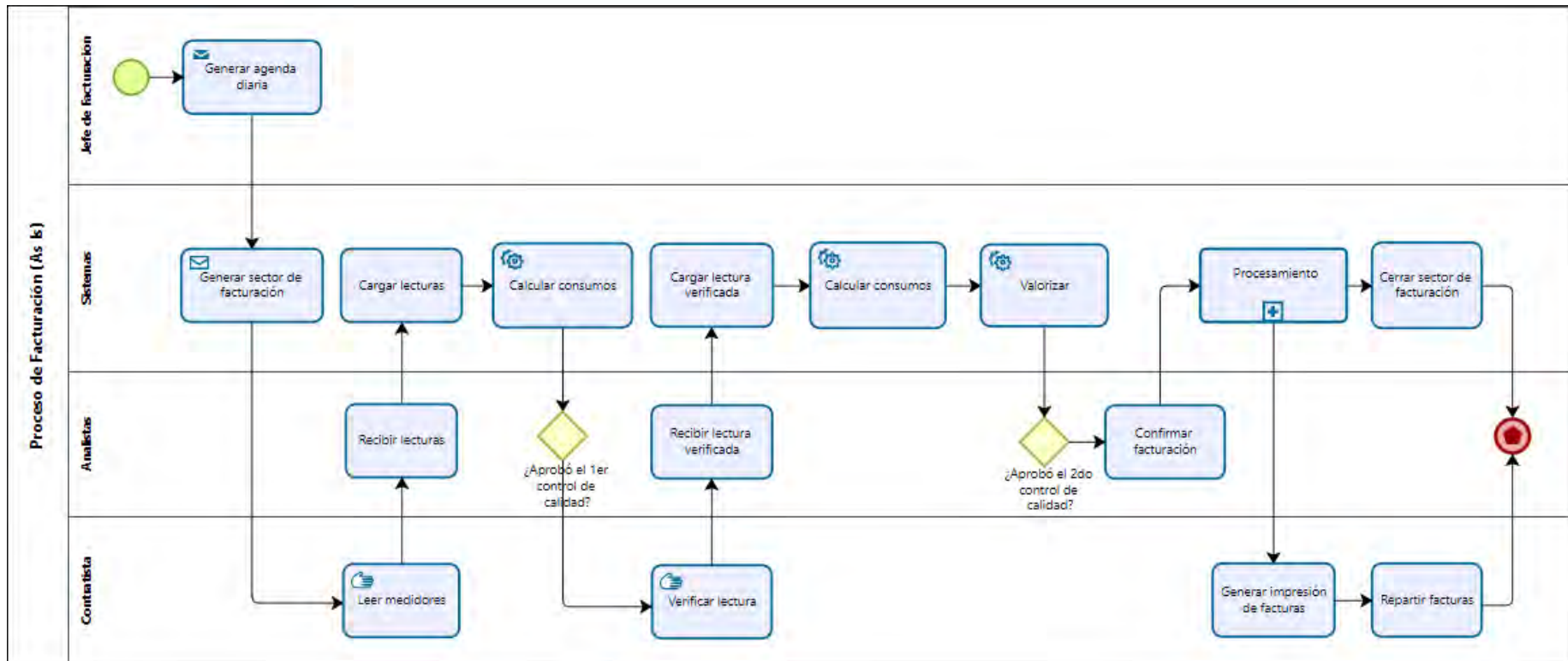
Valorización de los procesos operativos

MAPA DE PROCESOS						VALORACIÓN					Total
Código	Nivel 1	Código	Nivel 2	Código	Nivel 3	a	b	c	d	e	
MPE	Estratégicos	E - 01	Gestión Estratégica			5	4	1	1	1	12
MPE	Estratégicos	E - 02	Gestión Corporativa			4	4	3	1	1	13
MPE	Estratégicos	E - 03	Gestión de Indicadores y Rendimiento			4	5	2	1	1	13
MPO	Operativos	O - 01	Generación de Energía	O - 01.1	Generación de Energía	3	4	3	2	1	13
MPO	Operativos	O - 02	Generación de Energía	O - 01.2	Proyectos de Generación	3	4	3	3	1	14
MPO	Operativos	O - 02	Generación de Energía	O - 02.1	Transformación de Energía	3	4	3	1	1	12
MPO	Operativos	O - 02	Generación de Energía	O - 02.2	Operación y Mantenimiento	3	3	3	1	1	11
MPO	Operativos	O - 03	Comercialización de Energía	O - 03.1	Facturación	3	3	5	5	5	21
MPO	Operativos	O - 03	Comercialización de Energía	O - 03.2	Recaudación	3	3	4	4	1	15
MPO	Operativos	O - 04	Atención al Cliente	O - 04.1	Ventas de Suministro	3	3	3	1	1	11
MPO	Operativos	O - 04	Atención al Cliente	O - 04.2	Requerimientos y Atención de Reclamos	3	3	3	1	1	11
MPS	SopORTE	S - 01	Gestión Financiera			4	2	1	1	1	9
MPS	SopORTE	S - 02	Gestión Logística			2	2	3	1	1	9
MPS	SopORTE	S - 03	Gestión de Compras			1	2	3	3	1	10
MPS	SopORTE	S - 04	Gestión de las Herramientas Tecnológicas			4	2	3	1	1	11
MPS	SopORTE	S - 05	Gestión del Talento y Bienestar Humano			2	2	2	1	1	8
MPS	SopORTE	S - 06	Asesoría Legal			1	2	2	1	1	7
MPS	SopORTE	S - 07	Gestión Contable			1	2	2	1	1	7
MPS	SopORTE	S - 08	Sistema Integrado De Gestión			2	2	2	1	1	8

El proceso de facturación del consumo de energía eléctrica se encuentra, en la fase de distribución de energía eléctrica, que incluye diferentes actividades. El proceso se inicia en la generación de una agenda diaria (cronograma mensual de toma de lecturas, facturación y fechas de vencimiento) y prosigue hasta en el reparto y el cierre de facturas, que consiste en la emisión de todas las facturas y su correspondiente envío en formato digital o impreso, como se puede observar de forma detallada en la figura 3

Figura 3

Proceso actual de Facturación del Consumo de Energía Eléctrica - AS IS



Durante la ejecución de este proceso, que por su naturaleza es intensivo en el registro, la gestión de data y la generación de información, se observa las siguientes deficiencias e inconvenientes en cuanto al registro, la gestión, la validez y la confiabilidad de la data:

- La lectura manual de los datos de consumo a cargo de un técnico de la empresa distribuidora de electricidad hace que los datos puedan presentar errores de registro o lectura y en la digitación de estos.
- Durante el registro de datos también existe el riesgo o la posibilidad de alterar los datos originales, intencional o accidentalmente, dada la labor manual que un técnico realiza en el proceso de registro de datos, pudiéndose originar errores en las lecturas que luego pasan al sistema de facturación.

Por los motivos antes expuestos, los datos que manejan las empresas de distribución pueden presentar fallos de validez y, por ende, de confiabilidad, dado que están propensos a posibles errores en algún momento del proceso de facturación. Según Osinergmin (2021) a nivel nacional se registraron 26,935 inconformidades en el sector eléctrico durante el periodo de enero del 2020 a junio del 2021, siendo Lima Norte el área que reúne el 34% de estas inconformidades, de las cuales el 3.5% son quejas sobre la facturación del servicio. Puede parecer un indicador bajo, pero existen muchos usuarios que no levantan su queja. La evidencia empírica fundamenta este comportamiento debido a que no conocen los servicios que ofrecen los entes reguladores para realizar sus quejas, no cuentan con el tiempo para realizar esta acción, o no conocen como corroborar la medición de su consumo de energía eléctrica. Por estas razones solo les queda la percepción negativa del servicio, como menciona Fernández (2021) en su estudio, expresando que el sector comercial tiene una percepción negativa de la calidad del servicio de electricidad y la forma como se resuelven los reclamos frente a una facturación incorrecta; provocando niveles bajos de satisfacción.

El efecto de la información asimétrica provoca que los usuarios no puedan monitorear de una forma eficiente la cantidad de energía que consumen y no puedan cambiar de proveedor.

Adicionalmente, existe un uso ineficiente de los recursos humanos y tecnológicos a lo largo del proceso, debido a reprocesos y actividades que no aportan valor, como la digitación doble, la verificación constante y la resolución de reclamos; Como lo afirman Saravia et al. (2013) “en la lectura de medidores de electricidad se ve muchas deficiencias: entre ellas, la demora en el proceso de lectura del medidor y los posibles errores de digitación y facturación”.

A estos problemas encontrados, se suma que la mayor cantidad de medidores instalados son de tipo electromecánico, los cuales con el tiempo pierden la calidad de medición y requieren de constantes calibraciones, no brindan un dato exacto por diferentes condiciones ambientales y de antigüedad; además, no existe un proceso riguroso de registro y seguimiento del estado de los medidores, lo cual genera gastos constantes para su mantenimiento, cobros indebidos y fallas en la facturación. En el contexto de la problemática relacionada con los tipos de medidores de consumo, existen varias iniciativas y proyectos de modernización de la infraestructura base de la medición, alineados con la Política Energética Nacional del Perú 2010-2040, que cuenta con nueve objetivos, entre los cuales el objetivo número cuatro busca “contar con la mayor eficiencia en la cadena productiva y de uso de la energía” y cuenta con siete (07) ítems dentro de sus denominados “lineamientos de política”, entre los cuales resalta el referido a “lograr la automatización de la oferta y el manejo de la demanda a través de sistemas tecnológicos inteligentes”(MINEN, 2010). Por ejemplo, el proyecto piloto de implementación de 10 mil de medidores inteligentes, emprendido por Enel Perú en 2016 (Enel, 2021) (suspendido, temporalmente, por las condiciones impuestas por la Pandemia SARS-CoV-2) y, por otro lado, el proyecto piloto de medición inteligente de la empresa Luz del Sur, que está reemplazando 5,500 medidores convencionales de un total de

16,057 medidores que fueran aprobados por Osinergmin; este proyecto piloto incluyó la evaluación de siete tecnologías de comunicación en medidores a ser instalados en 10 distritos de su zona sur de concesión, contando con la participación de nueve fabricantes internacionales (Luz del Sur, 2020). La implementación de este tipo de medidores ayudaría a solucionar los problemas en la exactitud y la precisión en la lectura del medidor, dado que los datos viajarían encriptados al sistema de lectura que utiliza la empresa.

Además, la instalación de los medidores inteligentes permitirá mejorar la calidad de las lecturas, optimizar y agilizar el proceso de captura y registro del consumo real, pero, en un futuro muy cercano, no será suficiente para garantizar la seguridad de los datos en toda la cadena de la facturación del consumo de energía, por lo que es importante aplicar el enfoque sistémico en el diseño y la implementación de sistemas de seguridad cibernética (Ericsson, 2010; Camargo et al., 2014). Entre varias ofertas tecnológicas dedicadas a la protección de los datos operativos y empresariales, la implementación de tecnología *blockchain* no solo incrementa la protección contra ciberataques y reduce o elimina los roles de los intermediarios, sino que, como tecnología habilitadora, resolvería diversos problemas energéticos del futuro, como la diversificación de energía y la seguridad en la red eléctrica inteligente (Rennie et al., 2020)

Según IRENA (2019) la implementación de la tecnología *blockchain* puede ir de la mano con otras innovaciones inteligentes, como la inteligencia artificial, el internet de las cosas (IOT). Esta tecnología combinada podría atender a un gran número de sistemas distribuidos de energía que estén suministrando energía a una sola red eléctrica o a múltiples consumidores a nivel local; si bien a este nivel de modernización tecnológica el seguimiento continuo de los datos de importaciones y exportaciones podría verse alterado, la tecnología *blockchain* permite que estos datos circulen sin manipulaciones, lo que viabiliza que fluyan a

través de redes distribuidas basadas en registros mediante la duplicación de cada transacción de datos de energía con la etiqueta de tiempo según el protocolo de seguimiento.

Si bien es cierto, como sustenta Manoj (2021), los sistemas distribuidos de energía se vuelven verdaderamente inteligentes y más seguros al utilizar tecnologías como *blockchain*, lo que permite tener un flujo de datos altamente seguro entre los productores de energía, los comerciantes de energía, los comerciantes de emisiones, el personal de operación y mantenimiento, etc. Lo que, a su vez, permite el procesamiento y la toma de decisiones de tiempo real; no obstante, es preciso mencionar que existen desafíos tecnológicos y retos significativos en la implementación de las cadenas de bloques que podrían impactar en los beneficios potenciales de esta tecnología. Entre los retos de adopción de las tecnologías innovadoras, particularmente, en el caso de *blockchain*, se destacan, esencialmente, la complejidad de implementación de la cadena de bloques, las diferencias existentes en las plataformas de la implementación (abiertas o cerradas, públicas o privadas), la deficiencia de los recursos humanos especializados o falta de profesionales capacitados, por lo cual el costo de las consultorías puede ser crucial en la implementación de *blockchain*, como también y principalmente, los aspectos técnicos y consideraciones de seguridad en post de proteger los datos.

Por este motivo, la tarea de construir una ruta de acción para implementar *blockchain*, mientras el sistema de distribución de energía en el Perú se moderniza, es fundamental y requiere un análisis estratégico para asegurar transacciones seguras y monitoreadas en tiempo real, que produzca la confianza del usuario y del comercializador, en la confiabilidad y la seguridad de la información en las transacciones que, aunado con otras herramientas tecnológicas, permitan la toma de decisiones que puedan generar grandes cambios en la industria de la energía.

Es en este escenario que surge la pregunta ¿Cómo se podría afrontar los desafíos de la implementación de *blockchain* para resolver los problemas de la potencial vulnerabilidad de los datos en los procesos de facturación del consumo de energía eléctrica y, así, asegurar la validez y la confiabilidad de los datos? La respuesta representa, desde la perspectiva de la disciplina profesional y académica en Gestión de Tecnologías de Información, el propósito de la investigación: contribuir al sector de energía con una herramienta de toma de decisiones en la implementación de las tecnologías de vanguardia orientadas a salvaguardar la integridad y seguridad de los datos transaccionales y operativos.

Objetivos de la investigación

Objetivo General: Diseñar una hoja de ruta de la incorporación de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

Objetivos específicos:

OE1 – Diagnosticar el estado actual de la preparación (*readiness*) de la empresa de distribución de electricidad en la adopción de la tecnología del *blockchain* para la gestión de datos e información crítica y vulnerable en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

OE2 – Proponer un diseño de arquitectura de sistemas de alto nivel requerida para la incorporación de *blockchain* en la infraestructura informática de la empresa de distribución de electricidad.

- OE3 – Describir una posible ruta de adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

El diseño de una hoja de ruta de la incorporación de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad está acotado por siguientes factores:

- El estudio tiene como base el funcionamiento de empresas eléctricas de Lima Metropolitana.

- El estudio no considera especificaciones, costos o tipología de las redes eléctricas.
- No se incluirán elementos considerados como “especializados” de acuerdo con otras ramas o disciplinas como son la electrónica o telecomunicaciones, como por ejemplo el funcionamiento de *smart meters*, configuración de equipos de telecomunicaciones, infraestructura propia de la red de datos, entre otros.
- La hoja de ruta propondrá las actividades a seguir en temas de proceso de negocio, sistemas informáticos, infraestructura tecnológica y capacidad de recursos humanos, que permitirán tener una perspectiva de los objetivos de la organización en el corto, el mediano y el largo plazos, para hacer viable la adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación de una empresa de distribución de electricidad.

Considerando la situación problemática, identificada en el sector energético como deficiencia en el proceso de facturación del consumo de electricidad y la propuesta de la solución en el formato de los logros conducentes al diseño de una hoja de ruta de la incorporación de la tecnología *blockchain*, se prevé que la investigación generará el impacto positivo en siguientes aspectos:

Innovación Tecnológica del sector. Aunque se están iniciando esfuerzos por innovar en el sector, este aún sigue siendo tradicional y utilizando tecnología antigua, por lo que se hace necesario propiciar la investigación alrededor de los problemas que presenta, con el fin de encontrar alternativas que permitan mirar hacia una sociedad del futuro o *smart cities*. Así, la tecnología *blockchain* implementada en el sector podría contribuir a realizar estos cambios pensados en el futuro.

Mejora de la seguridad y fiabilidad de los datos. Si se piensa en el futuro, uno de los grandes esfuerzos en el uso de tecnologías será la seguridad y la fiabilidad de los datos y que estos no puedan ser adulterados ni hackeados, teniendo en cuenta que en la sociedad del futuro todo va estar digitalizado, se debe empezar a utilizar tecnología como *blockchain* que

permite esta seguridad y fiabilidad, reduciendo al mínimo el margen de error de lectura de los consumos que registran los medidores, dado que nadie externo y/o interno a la empresa podría manipularlos. Este riesgo, en la actualidad, es alto debido al proceso manual.

Ahorro de recursos. Si bien la inversión en implementar esta tecnología implica, actualmente, un gran desembolso de recursos económicos, a largo plazo significará una reducción de gastos para las empresas distribuidoras de electricidad, debido a que impactaría en la gestión de reclamos y quejas por mediciones erradas, reduciría reprocesos manuales y el gran manejo de recursos humanos que toman las lecturas. Para los usuarios, permitiría reducir sus costos, al monitorear su consumo, previniendo y controlando los consumos elevados, reduciendo el costo de su facturación del consumo del servicio eléctrico.

Visión estratégica del sector. Se considera que el escenario actual se presta favorablemente para que esta implementación de *blockchain* vaya de la mano de la incorporación de tecnología moderna, iniciada por las empresas distribuidoras Enel y Luz del Sur sobre sus proyectos pilotos de medidores inteligentes (*smart meters*), dado que esta tecnología por sí sola no va poder superar los problemas principales del sector, al no asegurar al 100% la seguridad y la fiabilidad de los datos que resultan de la lectura de medidores y de todo el proceso que incluye la facturación de los consumos de electricidad. Sí se superarían problemas básicos del sector si los proyectos mencionados incluyeran la implementación de la tecnología *blockchain* en un horizonte temporal cercano, ya que se puede utilizar esta tecnología habilitadora, en conjunto con las mejoras en la infraestructura física del sector.

Limitaciones

- Existen pocas investigaciones relacionadas al uso de *blockchain* en el sector de energía.
- Se cuenta con acceso cercano a la empresa de distribución de energía de Enel, pero es más lejano el contacto con la empresa de distribución Luz del Sur.

Capítulo II: Antecedentes

La tecnología *blockchain* lanzada el 2008, ligada a las transacciones de *bitcoins*, en la actualidad tiene grandes posibilidades y aplicaciones en las diferentes áreas, las que son estudiadas por diferentes investigadores. Son las entidades del sector financiero las que están constantemente analizando las plataformas y los modos de uso de *blockchain*, como el caso de Visa que “utilizó una criptomoneda estable (*stablecoin*) regulada y respaldada por el dólar estadounidense, la cual se transmite a través de la plataforma *blockchain* de Ethereum” (Visa, 2020). También el Banco Santander lanzó el primer bono con tecnología *blockchain*, a través de Ethereum “una de las tecnologías de código abierto de *blockchain* más avanzadas” (Santander, 2021)

Según Yahari (2017) “en la era de la información, las aplicaciones del *blockchain* son infinitas, tan solo limitadas por nuestro ingenio y creatividad”. Es así como, según el autor, esta tecnología se podría utilizar para la seguridad del voto electrónico en las elecciones; en los sistemas de transparencia de las instituciones gubernamentales, porque podrían publicar el estado de sus cuentas en tiempo real; en el *ecommerce*, donde gracias a la *blockchain* ya no se necesitarán intermediarios para el intercambio de bienes y servicios; en la identificación segura en la red y muchas otras actividades. Para el autor “*blockchain* provee ... seguridad permitiendo que nuestros datos sean fragmentados y dispersados por toda una red de computadores, logrando así una redundancia real e impide la manipulación de esos datos” (p. 18). Por otro lado, también es importante reconocer su aplicación en el campo de la salud, permitiendo “el intercambio de información clínica entre diferentes actores (profesionales sanitarios, centros médicos, investigadores y pacientes) de manera segura y auditable” (Sociedad Española de Informática y Salud, 2018) y en la educación para resguardar analíticas de aprendizaje (Rodríguez, 2019), en proyectos educativos de enseñanza aprendizaje abiertos OpenBlockchain (Bartolomé & Lindín, 2018) o Edublocs (Bartolomé et.

al, 2018). Según Pwc (2016) existen diferentes compañías alrededor del mundo que están invirtiendo en realizar proyectos implementando la tecnología *blockchain* en el sector energético; aunque estos aún están en su etapa piloto, ya se visualiza su gran potencial para construir un sistema descentralizado de los sistemas energéticos, donde las empresas de energía y los consumidores puedan vender y comprar energía a través de contratos inteligentes.

Para Schwab (2016) “*blockchain* genera confianza al permitir que personas que no se conocen (y por lo tanto no tienen ninguna base subyacente de confianza) colaboren entre sí, sin tener que pasar por una autoridad central que sea neutral”; el investigador pronostica que el 2025 por primera vez algún gobierno recaudará sus impuestos utilizando *blockchain* y el 10% del producto bruto interno global se almacenará con tecnología *blockchain*, dado que aumenta la transparencia, debido a que es un libro de contabilidad global que almacena todas las transacciones. Se considera *blockchain* como una de las tecnologías con mayor potencial disruptivo en los últimos años, debido a los inmensos campos donde puede utilizarse, ya que para Schwab (2016) “la posibilidad de tener una base de datos distribuida e inmutable a posteriori tiene un sinnúmero de utilidades prácticas que solo empiezan a vislumbrarse”.

Según el Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica (Peralta & Cárdenas, 2020) “*blockchain* genera mecanismos de seguridad a través de un sistema confiable, transparente, auténtico y seguro por lo que se hace imprescindible en operaciones que ameriten trazabilidad”. Esta institución ha realizado un esfuerzo por agrupar en su estudio diez tendencias, once proyectos, once patentes y ocho mercados donde está presente la tecnología *blockchain*, los cuales están siendo aplicados en el sector salud, financiero, gubernamental, energía y otros, como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1

Tendencia, investigaciones, patentes y mercados blockchain según CONCYTEC

Tendencias	Investigaciones	Patentes	Mercados
1.1 El Blockchain como servicio (BAAS, por sus siglas en inglés) y los gigantes tecnológicos	2.1. Un mecanismo de incentivo para el intercambio de datos basado en Blockchain con contratos inteligentes	3.1. Sistema de monitoreo de salud estructural basado en Blockchain y contrato inteligente	4.1 Garanti BBVA
1.2 El Blockchain federado sube a la palestra	2.2. Una plataforma integrada de gestión de energía basada en Blockchain con comercio bilateral para comunidades de microrredes	3.2 Protección de datos de Blockchain mediante cifrado homomórfico	4.2. Los principales bancos españoles desarrollan una prueba de concepto
1.3. Aumento de la visibilidad de las stablecoins, o monedas estables	2.3. Gestión e intercambio de recursos habilitados por Blockchain para comunicaciones 6G	3.3. Contratos inteligentes de Blockchain para fichas de opción de acciones del empleado	4.2. Los principales bancos españoles desarrollan una prueba de concepto coordinada por Iberpay para habilitar pagos en redes <i>blockchain</i>
1.4 Soluciones blockchain para atajar problemas en redes sociales	2.4. Análisis semántico latente basado en Word2vec (W2V-LSA) para el modelado de temas: un estudio sobre el análisis de tendencias de la tecnología blockchain	3.4. Blockchain digital para préstamo	4.3. Alastria
1.5 Interoperabilidad y redes Blockchain	2.5. Procesamiento de eventos basado en Blockchain en cadenas de suministro: un caso de estudio en IKEA	3.5. MHOC-Tecnología Blockchain: Atención médica y de observación de la salud utilizando tecnología blockchain	4.4. Everis
1.6 La economía y las finanzas impulsarán el desarrollo de aplicaciones Blockchain	2.6. Cambiando el poder: Cambiando el papel de los consumidores de electricidad con la tecnología Blockchain - Implicaciones políticas para la legislación de la UE sobre electricidad	3.6. Aparato de limpieza óptica basado en tecnología Blockchain	4.5. Hyperledger
1.7 Integración del blockchain en agencias gubernamentales	2.7. Analizar el rendimiento de una implementación de registro de salud personal basada en Blockchain	3.7. Protección de datos de Blockchain mediante cifrado homomórfico	4.6. R3 Cev
1.8 El IoT y Blockchain se dan la mano	2.8. Novedoso protocolo de consenso de confianza y sistema de evaluación de confianza basado en blockchain para servicios de aplicaciones M2M	3.8. Método y Sistema de ejecución de propiedades basados en Blockchain	4.7. Storj
1.9 Blockchain con Inteligencia Artificial (IA)	2.9. Un protocolo de firma de contratos justo con soporte Blockchain	3.9. Sistemas y métodos de grabación de transacción de Blockchain	4.8. Proof of Existence (Prueba de Existencia)
1.10. Demanda de expertos en Blockchain	2.10. Relaciones entre Blockchain y cadena de suministro: una perspectiva de la teoría del costo de transacción 2.11. Gestión de claves para la tecnología <i>blockchain</i>	3.10. Proponente trazable, método de producir un apropiador trazable y método de usar el mismo 3.11. Sistema de comunicación y dispositivo de gestión de direcciones, método de gestión de direcciones y programa de gestión de direcciones utilizados para el mismo	

Alrededor del mundo también se han desarrollado investigaciones, principalmente en el campo de la generación de energía, donde debido al calentamiento global y el creciente interés por la conservación del medio ambiente, se ha propuesto a utilizar fuentes de energía renovables, como la eólica (Jobert, et al., 2007, Breukers & Wolsink, 2007, Gross y Magnar, 2015) ampliamente implementada en Europa, fotovoltaica (Ruiz et.al, 2018; Sharalampos et al., 2021) que es la más difundida y presente; biomasa (Pérez et al., 2021), que fue la primera fuente de energía que se utilizó. Por otro lado, los diferentes estudios analizan el concepto de prosumidor, como aquella persona natural o jurídica que consume energía, pero a la vez produce energía (Falvo et al., 2015, Ruiz et.al, 2018), que aparece como un agente clave en la nueva visión del futuro del sector donde la tecnología juega un papel importante en la vida e interacción en la ciudad.

Según Del Rivero (2017) uno de los factores importantes en el futuro será la preocupación por los datos, cómo estos se utilizan, la seguridad y la privacidad de los mismos; por tal motivo, un reto para el futuro es que se garantice entornos abiertos, interoperables y confiables; donde el resultado de la gestión de los datos permita optimizar la toma de decisiones en tiempo real. En este escenario, *blockchain* se presenta como una tecnología facilitadora, que se puede implementar en el sector eléctrico, principalmente para la generación y distribución de energía con fuentes renovables (INREA, 2019).

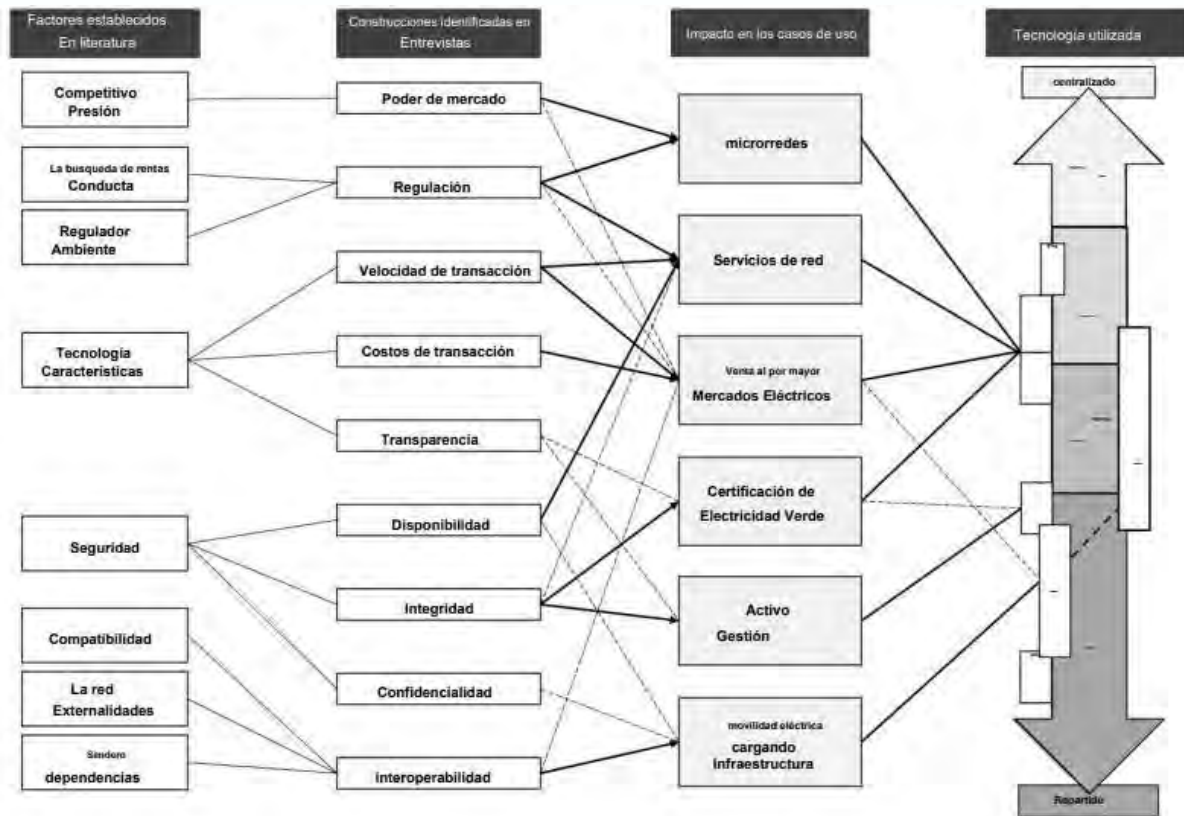
Van Leeuwen et al. (2020) proponen una plataforma integrada de gestión de energía basada en *blockchain* con comercio bilateral para comunidades de microrredes. Diestelmeier (2019) estudió el nuevo papel de los consumidores a “prosumidores”, dado que explica cómo la tecnología *blockchain* podría facilitar las transacciones *peer to peer* en el sector eléctrico, porque en el futuro se va a permitir a los consumidores evolucionar hasta convertirse en participantes independientes del mercado.

Brilliantova y Wolfgang (2018) en su investigación, entrevistan a diversos expertos alrededor del uso de la tecnología *blockchain* en el sector de la energía; coinciden en que esta nueva tecnología juega un papel muy importante en la integración, la producción, la transmisión, la utilización y el almacenamiento de energía. Resaltan el caso del Gobierno de Alemania que tiene un alto uso de la tecnología *blockchain* en el sector energético. Según Corusa et al. (2020) existían 31 estudios de casos en este país, entre *start-ups*, proyectos y cooperaciones, que incluían temas como comercio de electricidad a través de *blockchain* con un enfoque en la entrega a los clientes finales, servicios en el ámbito de la movilidad, desde la gestión de puestos de carga de autos eléctricos a proveedores de movilidad, aplicaciones de infraestructura y recopilación de datos, así como aplicaciones en el campo de microrredes, comercio de electricidad de empresa a empresa o de cliente a negocio, certificación y contratos inteligentes y otros desarrollos.

Albrecht et al. (2018) analizaron el impacto de los factores basados en la implementación de diversas tecnologías *blockchain* en el sector energético, desarrollaron un modelo de investigación integrado basado en la teoría de la difusión de innovaciones, economía institucional y el marco tecnología – organización - entorno. Esta investigación fue de tipo cualitativo. El instrumento utilizado fue la entrevista a profundidad (por teléfono o correo electrónico) donde se vinculó los constructos con la teoría y se evaluó su impacto en casos de uso relacionados al sector eléctrico. El estudio proporciona información para los responsables de toma de decisiones en las empresas eléctricas y el sector gubernamental referente a la aplicación de *blockchain* en el sector eléctrico. Los principales hallazgos de este estudio son la identificación de los factores y su relación con los casos de uso del sector energético. Las relaciones con efectos fuertes se muestran con líneas en negrita, mientras que las relaciones condicionales o débiles se muestran en líneas discontinuas en la figura 4.

Figura 4

Marco de investigación y relación entre factores y casos de uso



Nota: Tomado de Albrecht et al. (2018)

Labazova (2019) realizó un estudio que pretende crear un marco de evaluación de las implementaciones *blockchain* a partir de un enfoque de investigación científica del diseño de artefactos de TI, con el principal objetivo de investigar las deficiencias de las implementaciones de *blockchain*, el conocimiento de la tecnología de *blockchain*, las mejores prácticas de las implementaciones de *blockchain* del mundo real y los artefactos de TI en el dominio de *blockchain*. Se utilizó la metodología DSR (Design Science Research) que consta de seis pasos: identificación de problemas, definición de objetivos, diseño y desarrollo, demostración, evaluación y comunicación. El marco propuesto en esta investigación tiene en cuenta los factores de evaluación de *blockchain* que se agrupan en cuatro categorías:

idoneidad de *blockchain*, diseño de la *blockchain*, integración entre organizaciones y entorno de implementación. Esta investigación contribuye a la base de conocimientos científicos al sintetizar información sobre los factores de evaluación de *blockchain* y resaltar sus interconexiones.

Para Ruzanna (2018) debemos mantener cautela optimista de que la tecnología *blockchain* podría generar el impacto esperado en el sector energético, por lo que intenta describir los efectos que *blockchain* ha causado dentro de este sector energético y evaluar si las tendencias actuales dentro del sector confirman o refutan las expectativas puestas en esta tecnología, que podría desempeñar un papel clave en el control de datos y el soporte de decisiones para IoT a gran escala utilizando contratos inteligentes como medio para comunicar, automatizar y hacer cumplir las reglas entre dispositivos. El estudio se sustenta en la revisión de investigaciones y proyectos que se están realizando alrededor del mundo aplicando tecnología *blockchain*, en los que la alta relevancia de esta tecnología está motivada por los cambios que se espera que provoque en: (i) la forma en que se organizan los negocios y (ii) se regulan, así como (iii) por la forma en que cambia el papel del individuo dentro de una sociedad. Los impactos esperados de la tecnología *blockchain* ya han comenzado a manifestarse en la práctica y parecen estar basados en la realidad, aunque todavía queda un largo camino por recorrer para su pleno desarrollo.

Para Manoj (2021) el uso de la tecnología *blockchain* en los sistemas distribuidos de energía, podría desempeñar un papel importante como satisfacer las necesidades comerciales de los productores y consumidores de energía, proporcionando una plataforma de monitoreo de energía segura y totalmente controlada en edificios residenciales y comerciales y plantas de energía industrial, brinda facilidad y transparencia en los precios de electricidad, niveles de oferta y demanda. También podría ayudar en la seguridad energética al comercializar energía. El estudio concluye en que teniendo en cuenta que la digitalización del sector de

energía es inminente y en la cual se van a manejar una gran cantidad de datos, va a ser necesario en el futuro la implementación de “contratos inteligentes automatizados basados en la tecnología de *blockchain*” para agrupar los recursos de energía.

La primera plataforma de comercio de energía basada en *blockchain* fue Exergy que desarrolló la microrred de *Brooklyn* en abril de 2016 (Exergy 2017). Otro ejemplo de aplicación de *blockchain* en el mundo se encuentra en la ciudad australiana de Fremantle, que gesta una iniciativa muy ambiciosa enfocada en la distribución de la electricidad y los sistemas de agua utilizando la tecnología *blockchain*. Las fuentes de energía eléctrica son paneles solares, usados para calentar agua y utilizar este vapor para alimentar turbinas, como parte del programa inaugural de *Smart Cities and Suburbs* financiado por el gobierno australiano que involucra socios académicos, de infraestructura y tecnología. Dicho programa evaluará cómo las ciudades pueden usar la tecnología *blockchain* y el análisis de datos para integrar sistemas distribuidos de agua y energía (SmartCitiesWorld news team, 2017); este proyecto utiliza “*Power Ledger*” que es una plataforma de intercambio de energía confiable, transparente e interoperable con tokens de transacción que permiten a los minoristas realizar transacciones de energía simples entre sí y recibir pagos en tiempo real desde sistemas de liquidación automatizados (Wang et al., 2019); inicio el 2019 procesando alrededor de 50,000 transacciones por mes, su funcionamiento se basa en la introducción de datos a través de los *smart meters* en la plataforma *blockchain de Power Ledger*, para luego ser exportados al sistema de facturación de la empresa distribuidora del país y garantiza un registro seguro y preciso del comercio de energía.

Así como Suchain, en Francia, que en sus diferentes proyectos de energía utiliza *blockchain* para las transacciones y resguardo de datos, entre los proyectos más reconocidos esta “*Prémian Energie Positive*” que se ubica en la ciudad de *Prémian* y se basa en un sistema colectivo de transmisión de energía en donde participa el municipio de la ciudad, que

es uno de los principales productores de energía fotovoltaica, la cooperativa proveedora de electricidad renovable Enercoop, la empresa Tecsol que tiene la patente de flujo compartido de energía y Suchain que provee la plataforma *blockchain* a través de que Hyperledger Fabric. En este sistema la electricidad compartida pasa a través de una red pública; la distribución de la energía eléctrica se realiza de acuerdo con las reglas acordadas entre los participantes y las fórmulas aplicadas, así como, los datos de consumo y producción se registran en una *blockchain*, lo que permite certificarlas garantizando la trazabilidad y auditabilidad del cálculo de la tasa de distribución transmitida (Suchain, 2021).

Según INREA (2019), otro claro ejemplo es “Elia, el operador del sistema de transmisión de electricidad belga que, en abril de 2018, lanzó una iniciativa piloto de *blockchain* que explora las oportunidades que ofrece esta tecnología como sistema de pago para resolver el aspecto comercial de transacciones complejas y rápidas” (p.10), así como para registrar y validar los datos de medición de consumo de energía y liquidar las operaciones financieras asociadas. El proyecto de Elia Group propone que *blockchain* podría soportar miles de dispositivos descentralizados para ayudar al equilibrio de la red, a la vez podría asegurar el suministro, integrar energías renovables, disminuir costos de energía sostenible y aumentar los ingresos en los hogares. Según el Grupo Elia (2021) los resultados preliminares de este proyecto piloto son: i) la tecnología *blockchain* está lista para ser introducida en el mercado energético y brinda confianza a través de la gestión automatizada de custodia y la inmutabilidad de los datos. Facilita la certificación medidores y acelera el proceso de facturación de los distribuidores del sector y ii) la tecnología no puede eliminar del todo a los intermediarios debido a la necesidad de una conexión física.

Por otro lado, la Comisión Europea evalúa las tecnologías digitales como habilitadores claves del futuro sistema energético que respalda una economía sostenible. En este sentido, apunta a que las tecnologías digitales serán fundamentales para habilitar el

sistema energético descentralizado y descarbonizado del futuro. Uno de los principales hallazgos del estudio de la Comisión Europea es que existe una amplia gama de aplicaciones digitales en toda la cadena de valor del sector energético, desde los sistemas de gestión de energía de los hogares para la optimización in situ de edificios, pasando por las plataformas de comercio *blockchain* para el correcto desarrollo de las comunidades energéticas hasta los medidores inteligentes para un mayor análisis de datos de clientes (Jakeman et al., 2020).

En América Latina, los países que más han desarrollado proyectos e investigaciones sobre la tecnología *blockchain* son Brasil, Colombia y Chile. En Brasil se está desarrollando toda una industria energética que puede gestionarse con el uso de *blockchain* (Rennie et al., 2020); en este país, la energía aún no se comercializa localmente, porque las aplicaciones de la tecnología *blockchain* en comercialización y en generación distribuida (GD) aún se encuentran en fase de investigación; el proyecto principal de Brasil es el “Mercado descentralizado para la venta de energía eléctrica basada en *blockchain*”, liderado por Copel (Companhia Paranaense de Energía) y la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANNEL) de Brasil, que se implementó el 2019 y que se estima se complete el 2022; el objetivo de este proyecto es crear un modelo “que permita la venta directa de energía entre productores en un entorno de generación distribuida - conocidos como prosumidores - y consumidores en el mercado de distribuidores de energía de baja tensión” (Copel, 2021).

Por su parte, Colombia utiliza *blockchain* en sistemas que permiten hacer un seguimiento y retiro de los créditos de carbono (EcoRegistry) y gestiona las convocatorias para los contratos bilaterales (SICEP), garantizando transparencia, confiabilidad, autenticidad de los usuarios, la integridad de los archivos y favoreciendo la trazabilidad de la información (Castaño 2020). Por otro lado, la Comisión Nacional de Energía de Chile (CNE) ha comenzado también a utilizar *blockchain* a través de la plataforma Energía Abierta para certificar la calidad y certeza de los datos abiertos del sector energético nacional. Entre la

información que la CNE comenzó a autenticar están los precios medios de mercado, los costos marginales, los precios de las gasolinas, el cumplimiento de la ley de ERNC, entre otros (CNE, 2018).

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (Rennie et al., 2020) el Perú tiene un bajo nivel de despliegue de medidores inteligentes junto con Bolivia, en comparación con los demás países de América Latina y el Caribe, encontrándose atrasados en adopción de tecnologías físicas, pero tiene una buena adopción de tecnologías habilitadoras como el servicio en la nube, análisis avanzado y *blockchain*. En esta línea, se están desarrollando proyectos en diferentes sectores que recién están en proceso de implementación, como Bitinka que se dedica al intercambio de divisas y criptomonedas, la cual ha venido creciendo de manera exponencial, siendo una de las primeras empresas peruanas en incorporar tecnología *blockchain* en sus operaciones, permitiendo sistematizar muchos procesos, garantizando la trazabilidad y además la seguridad en operaciones que son complejas como remesas de dinero y pasarela de pagos internacionales en la moneda local que elija el usuario de forma rápida y sencilla (Mendoza, 2017).

En el sector gubernamental, el Ministerio de Económica y Finanzas registró en *blockchain* más de 154 mil órdenes de compra en su plataforma Perú Compras, que coloca al Perú en uno de los primeros países de Latinoamérica que realiza compras públicas haciendo uso de la tecnología *blockchain* para la protección de datos de las transacciones teniendo los participantes y el gobierno la certeza que la información es real y no es alterada por nadie en ninguna etapa del proceso. Cada orden de compra digital se registra en una base de datos distribuida en una red de servidores denominados nodos donde se convierte en un activo digital no fungible (Perú Compras, 2020). Por otro lado, con la finalidad de contribuir en la detección de prácticas de competencia desleal, como la concertación de precios a cargo de Indecopi, Osinergmin viene utilizando la tecnología *blockchain* en su proceso de Registro de

Hidrocarburos para compartir información con dicha institución, de manera automatizada y segura, sobre los precios de venta de combustibles reportados por los agentes comercializadores. El sistema *blockchain* permite además trasladar la información de precios de manera confiable y transparente, por lo que es usado en grandes entidades a nivel internacional (Osinermin, 2020).

El proyecto en el Perú más cercano al tema de energía se está implementando en Arequipa, donde la Sociedad Eléctrica del Sur Oeste – Arequipa (SEAL) ha planteado una iniciativa en la que proponen crear un código QR en su recibo de energía de servicios. Este código cuenta con la información del consumo del cliente, resguardada en una *blockchain* (Seal, 2019), pero la cadena de bloques que está utilizando la empresa SEAL para este nuevo proyecto no fue identificada y se desconocen detalles de su funcionamiento e, incluso, si es pública o privada.

Por otro lado, entre los autores que han utilizado la técnica del *roadmapping* en sus investigaciones en el sector energético como una herramienta para pronosticar el futuro, tenemos a Alvarenga et al. (2018) que desarrollaron el *roadmap* en el sector energético de Brasil para trazar rutas estratégicas hasta el 2030. Se inició con un diagnóstico del sector energético brasileño, considerando acciones de instituciones gubernamentales, empresariales y tecnológicas, donde se identificaron 104 oportunidades de actuación a partir del análisis de mercado, talleres y entrevistas a expertos y representante de empresas.

En el mismo país, Lopes et al.(2019) realizaron un *roadmap* para la energía solar fotovoltaica centralizada. La metodología de esta investigación se llevó en tres etapas: i) fase preprospectiva, donde se realizó un estudio preliminar del conocimiento sobre el tema ii) fase prospectiva, donde se realizó la definición de estrategia, la estructura del flujo de información de la hoja de ruta y el análisis de resultados y iii) fase postprospectiva, donde se construyó el *roadmap*; el instrumento utilizado fue el de la revisión y el análisis de bases de datos del

sector; uno de sus principales resultados fue brindar a través de un *roadmap* información necesaria para el desarrollo de investigaciones y emprendimientos en el sector, promoviéndolo y haciéndolo competitivo.

Otra investigación en el sector fue desarrollada por Loor et al. (2017) planteando una hoja de ruta para la introducción de redes inteligentes en Ecuador. En este estudio utilizaron el método inductivo y técnicas de investigación de revisión de documentos, textos y marco normativo, información cartográfica y de bases de datos y analizaron la evolución histórica de los modelos tradicionales de planificación energética; así, desde el 2013, en Ecuador, se vienen implementando acciones que van a permitir que este país en un futuro cercano (no posterior al año 2030) va a poder convertirse en una ciudad inteligente. Las principales rutas que describieron los autores para implementar el Programa Redes Inteligentes del Ecuador (REDIE) se presentan en la figura 5.

Figura 5

Roadmap del Programa de Redes Inteligentes del Ecuador



Nota: Tomado de Loor et al. (2017)

Capítulo III: Marco Teórico

El sector de distribución de energía en el Perú y sus principales conceptos

La red eléctrica es un conjunto de múltiples subredes que están interconectadas con una estructura jerárquica y donde circula la energía eléctrica, compuesta por elementos de generación eléctrica, líneas de transporte generalmente en alta tensión, estaciones transformadoras, líneas de distribución en estructura radial normalmente en media y baja tensión, suministrando energía a los distintos consumidores (Casellas et al., 2010).

En lo que respecta a la industria de la energía eléctrica en el Perú, se encuentra dividida en tres subsectores: generación, transmisión y distribución. El proceso de facturación de consumos se encuentra en el subsector de la distribución, que es realizada por las empresas encargadas de recibir energía de las generadoras o transmisoras y llevarla hacia el usuario final en condiciones controladas (voltaje, frecuencia, calidad) con la finalidad de asegurar un suministro confiable desde las subestaciones hasta los hogares, comercios y fábricas. Las empresas de distribución realizan el mantenimiento periódico de las redes eléctricas, efectúan la lectura de los consumos de electricidad registrados en los medidores, facturan, reciben los pagos y luego se transfiere el dinero que corresponde a las empresas generadoras y transmisoras. En esta industria existen 108 empresas del sector energía (MINEM, 2018); el 64% (69) son empresas de generación, el 19% (21) son de distribución, de las cuales dos están ubicadas en Lima Metropolitana: Enel Distribución Perú S.A.A. y Luz Del Sur S.A.A., ambas de administración privada y el 17% (18) son empresas transmisoras.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), el 92,9% de hogares en el Perú cuenta con acceso a la energía eléctrica mediante red pública (ver figura 6).

Figura 6

Perú: hogares con acceso al servicio de energía eléctrica mediante red pública, 2011 - 2018



Nota. Tomado de INEI – Encuesta nacional de programas presupuestales, 2011 – 2018.

Otro elemento importante de la red de distribución de energía eléctrica son los medidores, que son contadores eléctricos, los cuales cuentan con tres elementos principales: el sistema de medida, el elemento de memoria y el dispositivo de información, realizando la función de interfaz de la red eléctrica con el usuario, *front-end* de la red (Casellas et al., 2010).

Para Pimentel y Vislao (2014), estos dispositivos miden el consumo de energía eléctrica requerido por la industria, una vivienda o, en general, de todos los artefactos que por su funcionamiento requieren electricidad y pueden clasificarse en tres tipos:

el medidor electromecánico registra el consumo de energía de una carga mediante el conteo de unas vueltas de un disco giratorio de aluminio; el medidor electromecánico con registrador electrónico que cuenta con un disco giratorio del medidor de inducción, el cual se configura para generar un tren de pulsos mediante un captador óptico que censa marcas grabadas en su cara superior y el medidor totalmente electrónico, el cual mide la energía y la registra por medio de un proceso análogo-digital utilizando un microprocesador y memorias. Según Casellas et al. (2010) los medidores también pueden clasificarse según sus características, los medidores tecnológicos que pueden ser electromecánicos o electrónicos; los medidores

funcionales que pueden ser monofásicos o trifásicos; los medidores energéticos que pueden ser de energía activa o energía reactiva y los medidores operativos de tipo registrador o dispositivos programables que permiten telegestión.

La evolución de los medidores son los *smart meters* o medidores inteligentes. Estos dispositivos tienen la capacidad de calcular el consumo de energía de una forma más detallada que permite la comunicación de la información a través de una red disponible hasta otros medidores, agregadores o centros de control, a la vez permite la supervisión por parte del usuario, la gestión de la demanda, la conexión y la desconexión remota entre otras aplicaciones. Interactúan con el operador de red por medio de canales de comunicación y envían la información utilizando protocolos que garantizan su interoperabilidad (Mojica et al., 2016). El *smart metering* es un sistema que optimiza la distribución y la generación de energía eléctrica, permitiendo al operador de la red eléctrica medir y transmitir, usando los medidores inteligentes (*smart meters*) de manera periódica, el consumo eléctrico de regiones completas, lo que le permite adelantarse a los picos y los valles y adecuar, así, la producción eléctrica a la demanda real del mercado. Esta medición se realiza de manera remota y va ligada con el concepto de agilidad en todos los procesos relacionados con el suministro eléctrico de los hogares, como altas de servicio, cortes, reconexiones, controles de potencia, cambios de tarifa, localización o gestión de averías; todo ello sin necesidad de que acuda un operario en persona al domicilio (Endesa, 2021).

La Tecnología *Blockchain* y sus Principales Características

Según Preukschat et al. (2017), una *blockchain* es una base de datos distribuida entre diferentes participantes, protegida criptográficamente (no puede ser alterada) y organizada en bloques de transacciones relacionados entre sí matemáticamente.

La tecnología de cadenas de bloques, libro contable distribuido (Distributed Ledger Technology, DLT) es una de las tecnologías más promisorias dentro del conjunto que

componen la cuarta revolución industrial. Debido a que, sin importar el tamaño del actor logístico o su ubicación dentro de la cadena de valor, existe una alta probabilidad de que sus procesos o los datos generados utilicen muy prontamente esta tecnología, ya sea directamente o mediante aplicaciones que empleen *blockchain* parcialmente (WEF, 2019).

Para Barafani et al. (2020), la *blockchain* es una base de datos virtual y segura, que brinda información sobre las transacciones que tienen lugar en un grupo, como una corporación, una red de proveedores, un fondo común de inversión o una cadena de abastecimiento internacional. Esta base de datos ofrece un registro distribuido e inalterable, cifrado y extremadamente seguro que, al mismo tiempo, resulta transparente y accesible para todos los participantes.

Según Parrondo (2018) la *blockchain* ha servido como una tecnología de registros potencialmente transformadora que se espera sea tan revolucionaria como Internet, ya que la funcionalidad de *blockchain* ha evolucionado a una gran cantidad de aplicaciones, tales como las de banca, mercados financieros, contabilidad, cadenas de suministros, sistemas de votación y servicios gubernamentales. Además, que permite generar un ecosistema empresarial en tiempo real, verificable y transparente, dado que tiene el potencial de crear empresas digitales a través de contratos inteligentes que permiten automatizar y democratizar la toma de decisiones.

Según Dolader et al. (2017) la “cadena de bloques” o *blockchain* vio la luz en 2008 con la publicación de Satoshi Nakamoto, donde explicaba el protocolo que usa actualmente bitcoin. Este nuevo concepto formaba parte de un sistema para procesar transacciones electrónicas de forma que no fuera necesaria una autoridad central. A principios de 2009, se publicó el primer cliente bitcoin, de código abierto, con el que empezó a funcionar la creación de bitcoins y la base de datos pública e inmutable con las transacciones, conocida como *ledger* (libro de registros). La tecnología para implementar este libro de registros

distribuidos fue la *blockchain*, que puede proporcionar robustez, seguridad, transparencia y escalabilidad a grandes sistemas de datos, lo que permite hacer frente a un amplio abanico de amenazas como los ciberataques realizados por hackers y la alteración de la información en alguna parte de la transacción.

La tecnología *blockchain* se viene implementando en diversos sectores, principalmente por las ventajas que ofrece en el ámbito de seguridad. Si bien *blockchain* nació para la creación de una moneda digital que garantizara la seguridad, la transparencia y la privacidad entre los usuarios, dicha tecnología no solo se viene empleando en el sector financiero, sino también en los sectores automotriz, salud, seguros, medios de comunicación, entretenimiento, comercio, telecomunicaciones, viajes y transporte, gobierno y, finalmente, en sectores de energía y petróleo.

Para Gartner (2018) la tecnología *blockchain* se encuentra en una etapa esencial, en la que los líderes empresariales deben conocer su potencial para revolucionar la forma en que las empresas pueden funcionar, por lo que es necesario que se adopte un enfoque cuidadosamente pensado con *blockchain*, sus aplicaciones y funcionalidades.

Para el propósito de la presente investigación, *blockchain* o cadena de bloques es una tecnología innovadora que permite realizar transacciones de forma segura, transparente y descentralizada, donde los datos viajan sin la posibilidad de ser alterados en su recorrido.

Según Gartner (2018) la tecnología *blockchain* cuenta con características que permiten gestionar la información de manera segura y trazable, resultando muy importantes en el entorno empresarial, al permitir, de esta manera, mejorar o crear nuevos procesos de negocio.

Cuenta con las siguientes características:

- i. Seguridad.** *Blockchain* utiliza tecnologías como claves públicas y privadas para registrar los datos en los bloques de forma segura y semianónima (los participantes

tienen seudónimos). Los participantes pueden controlar su identidad y otra información personal y compartir solo lo que necesitan en una transacción.

ii. Trazabilidad. *Blockchain* permite recorrer la cadena de bloques y trazar todas las operaciones que se han realizado o retroceder en el tiempo y revisar las transacciones que se hicieron en una fecha determinada explorando todos los bloques generados en la fecha indicada.

iii. Inmutabilidad. Toda transacción completada se firma criptográficamente, agregándole la hora y secuenciándola en un Libro Mayor. Los registros no pueden corromperse o adulterarse, a menos que los participantes estén de acuerdo en la necesidad de hacerlo.

iv. Distribución. Todos los participantes de *blockchain* están separados físicamente unos de otros y conectados en una red; cada participante que opera un nodo mantiene una copia completa de un libro mayor que se actualiza con las nuevas transacciones a medida que ocurren. Por otro lado, la falla de los componentes se minimiza ya que las transacciones se cifran y almacenan en varios nodos

v. Descentralización. Tanto la información como las reglas de funcionamiento de la red son mantenidas por los nodos mediante un mecanismo de consenso. En la práctica, significa que ninguna entidad controla la información o dicta las reglas.

Según Parrondo (2018) existen tres clases o tipos de *blockchains*:

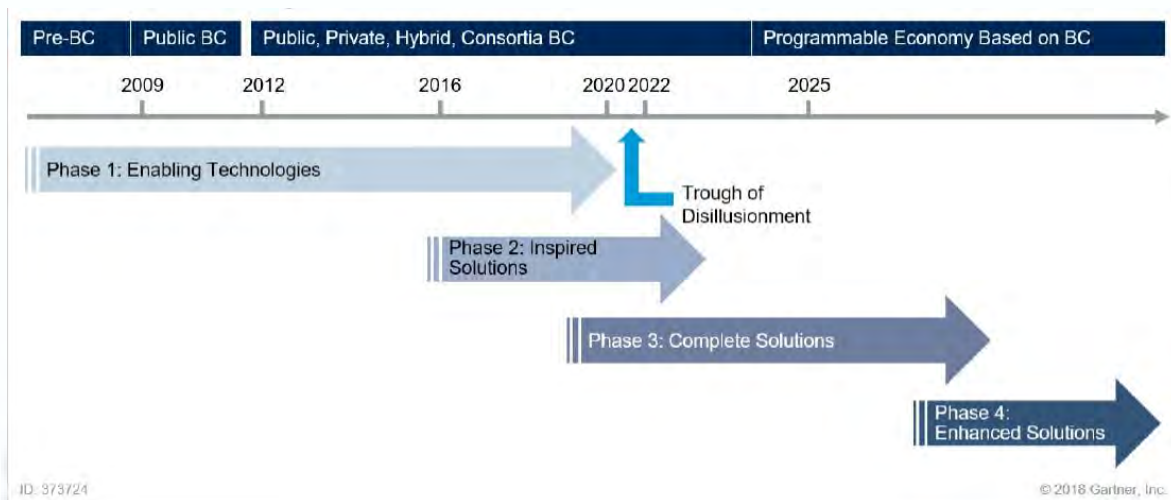
- a. ***Blockchain* pública.** Es una red a la que cualquier persona puede acceder, crear bloques y participar en el proceso de consenso o proceso de validación. Estos mecanismos se basan en el principio de que el poder de validación es proporcional a la cantidad de recursos económicos que pueden aportar. Estas cadenas de bloques generalmente se consideran "totalmente descentralizadas" Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Namecoin son ejemplos de redes públicas.

- b. **Blockchain de consorcio.** Es una cadena de bloques donde el proceso de consenso es controlado por un conjunto de nodos preseleccionados; por ejemplo, uno podría imaginar un consorcio de 15 organizaciones, cada una de las cuales opera un nodo y 10 deben firmar para que el bloque sea válido. La lectura puede ser pública o restringida a los participantes. Estas cadenas de bloques se pueden considerar "parcialmente descentralizadas"
- c. **Blockchain privada.** Es una cadena de bloques donde los permisos de escritura se mantienen centralizados en una organización. Los permisos de lectura pueden ser públicos o restringidos de forma arbitraria. Las posibles aplicaciones incluyen administración de bases de datos o auditoría internas a una sola empresa, por lo que la lectura pública puede no ser necesaria en muchos casos. *Hyperledger* (comunidad de código abierto creada por la Fundación Linux el año 2016) es uno de los proyectos que más apoyo ha suscitado para crear *blockchains* privadas transversales. Está formado por decenas de miembros asociados que pretenden desarrollar una plataforma común y universal para *blockchains* privadas. Hyperledger.org es una colaboración global, donde participan los sectores de finanzas, banca, cadenas de suministro, manufactura y tecnología. Bajo este esquema, auspiciado por el sistema operativo Linux, se han desarrollado una serie de herramientas y metodologías para gestionar la confidencialidad de la información almacenada en la cadena de bloques. Destaca especialmente el enfoque de canales que han desarrollado, el cual comparte información solo con aquellos nodos que forman parte del canal o han sido autorizados para acceder a esa información. Empresas como IBM, Intel, Cisco, JP Morgan, Wells Fargo, State Street, el London Stock Exchange Group o Accenture, forman parte de este conglomerado.

Gartner (2018) proporciona un modelo para examinar la evolución de las soluciones *blockchain* y cómo sus fases se alinean con el valor que las empresas pueden obtener. Este modelo identifica tres fases (ver figura 7).

Figura 7

Espectro de Blockchain de Gartner



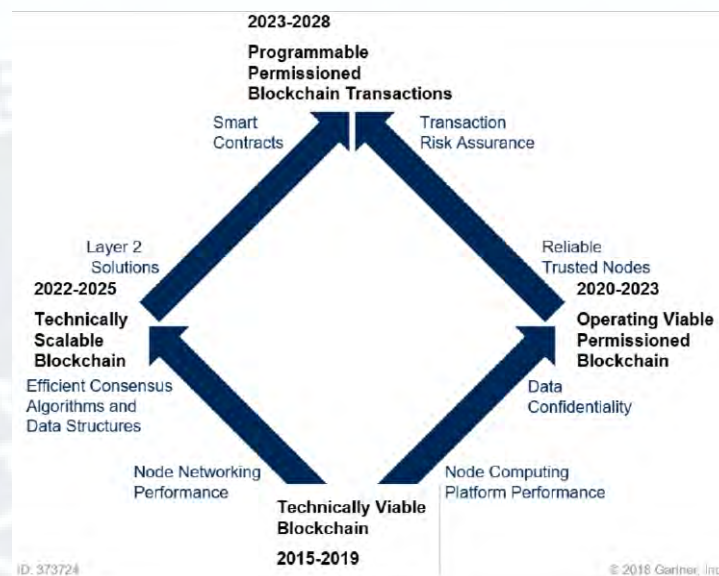
Nota: Tomado de Gartner (2018)

- Soluciones inspiradas en *blockchain*.** Esta etapa que inició su desarrollo el año 2012 solo incluye los elementos de distribución, cifrado e inmutabilidad, sin ser un modelo completo se centra en crear una eficiencia mediante la racionalización de los procesos existentes.
- Blockchain* completa.** Esta fase incluye todos los componentes con la propuesta de valor completa de la tecnología; Gartner espera que este nivel de madurez se alcance alrededor del 2023.
- Mejoras en *blockchain*.** La tercera fase combinará soluciones completas de *blockchain* con tecnologías complementarias como inteligencia artificial (IA), Internet de las cosas (IoT) y soluciones descentralizadas de identidad autónoma (SSI). Además, Gartner (2018) propone un modelo de escalabilidad y define ocho obstáculos que deben superarse para lograr la implementación de *blockchains*. Estos obstáculos

se agrupan en: a) cuatro obstáculos relacionados con el desempeño técnico, mientras se mantiene la descentralización y b) cuatro obstáculos relacionados a los desafíos del modelo operativo, los cuales deben superarse para que las empresas puedan participar con éxito en transacciones privadas de *blockchain* (ver figura 8).

Figura 8

Modelo de escalabilidad de blockchain de Gartner



Nota: Tomado de Gartner (2018)

Si bien *blockchain* tiene muchas posibilidades de uso y beneficios para manejar de manera segura los datos y las transacciones, también es importante resaltar que presenta algunas dificultades:

- Costos elevados.** Según Arruñada (2018), dado el incremento de intermediarios en la cadena de bloques, es altamente probable que afecte los costos de las transacciones, alcanzando costos muy alto de su implementación.
- La poca escalabilidad.** Según Oh & Shong (2017) el número de transacciones con la tecnología en estos momentos es reducido.

- c. **Anonimato.** Según Navas et al. (2020) al realizar las transacciones de forma anónima, cuando ocurre algún problema o error, no se puede saber quién es el responsable.
- d. **Inmutabilidad.** Según Dolader et al. (2017) al ingresar un dato, este no puede ser modificado; por lo que, si alguien ingresa un dato errado, sería muy difícil cambiarlo.

Según Tapscott, D. & Tapscott, A. (2017) los retos que debe enfrentar la tecnología *blockchain*, son que esta no está preparada para ser utilizada para una gran demanda de público, consume demasiada energía por el almacenamiento que requiere, los gobiernos no están preparados, por lo que pueden utilizarla de manera no adecuada, y las poderosas empresas se pueden adueñar de sus beneficios; a esto se agrega la creación de desempleo y la posibilidad de que los delincuentes la puedan utilizar para realizar actos delictivos.

El uso de la hoja de ruta (roadmap) para planificar el futuro

Según Farias et al. (2001) “los *roadmaps* proporcionan un marco para pensar en el futuro. Estructuran la planificación y el desarrollo estratégico, la exploración del crecimiento y el seguimiento de acciones que permitan alcanzar los objetivos” (p. 170). Para Bray y García (1997) el principal beneficio de la hoja de ruta tecnológica (*roadmap technology*) es que proporciona información para ayudar a tomar mejores decisiones de inversión en tecnología y está compuesto por tres fases:

- i. **Fase 1: Definir los Asuntos Preliminares.** Donde se identifica la necesidad, se identifican condiciones que se cumplen o se deben cumplir en el futuro, se establece compromisos, patrocinio o liderazgo y, finalmente, se delimita el alcance, el horizonte temporal y las limitaciones.
- ii. **Fase 2: Realizar la Hoja de Ruta Tecnológica.** Los involucrados deben estar de acuerdo con el producto o los componentes a trabajar en la hoja de ruta, identificar los requisitos críticos para el desarrollo tecnológico, identificar las

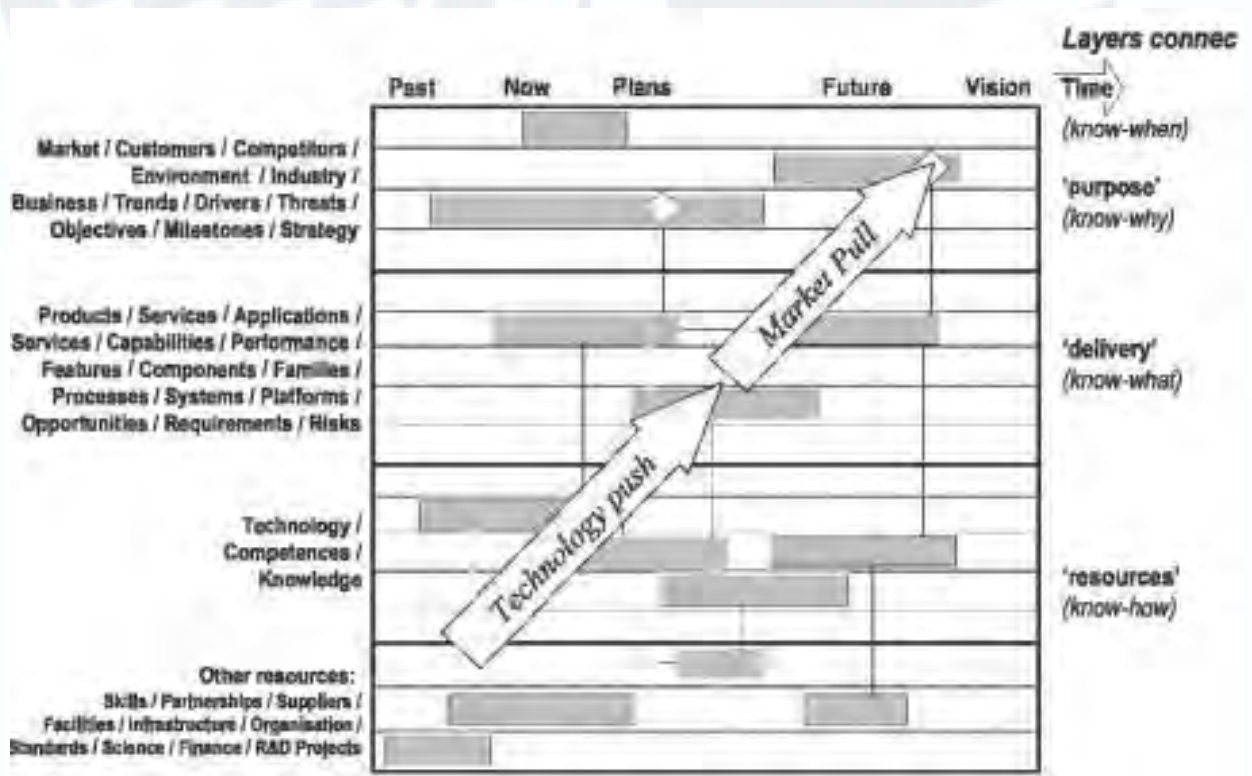
áreas tecnológicas que ayudarán a cumplir los objetivos, especificar los impulsores o *drivers* tecnológicos (variables críticas que determinarán qué alternativas tecnológicas serán seleccionadas) que permitan el logro de objetivos; luego, identificar y seleccionar una alternativa tecnológica alineada a los objetivos para, finalmente, elaborar el informe de la hoja de ruta.

- iii. **Fase 3: Seguimiento.** Se valida la hoja de ruta, se establece un plan de implementación, se revisa y actualiza periódicamente.

Según Phaal (2004) “la hoja de ruta tecnológica representa una técnica poderosa para respaldar la tecnología, la gestión y la planificación, especialmente para explorar y comunicar los vínculos dinámicos entre los recursos tecnológicos, los objetivos organizacionales y el entorno cambiante” y plantea una arquitectura de un *roadmap* genérico (ver figura 9).

Figura 9

Arquitectura de hoja de ruta tecnológica generalizada



Nota: Tomado de Phaal et al. (2004)

Los modelos de adopción de tecnologías

Según López-Bonilla, L. y López- Bonilla J. (2010) los modelos de adopción de tecnología, que en su mayoría provienen de la Teoría de la Acción Razonada propuesta por Fishbein y Ajzen (1975, 1980), “se basan en describir los procesos de información que conducen a las intenciones de aceptar o rechazar una tecnología.” Entre los más utilizados se encuentran:

- El Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM), propuesto por Davis (1989), que “sostiene que la actitud hacia el uso de un sistema de información está basada en dos variables antecedentes, como son la utilidad percibida y la facilidad de uso percibida del sistema”. Posteriormente, Venkatesh y Davis (2000) proponen una versión ampliada de este modelo, al que denominan TAM 2, donde incluyen variables externas al modelo inicial como: experiencia, voluntariedad, normas subjetivas, imagen, relevancia del trabajo, calidad de los resultados, demostrabilidad de los resultados, que también influirían en la intención de uso.
- El Modelo de Adopción y Uso de la Tecnología (TAU), propuesto por Bagozzi (1990), que se inicia con la *estimulación de una necesidad*, luego pasa a la fase de *respuestas psicológicas básicas*, donde se forman creencias sobre las consecuencias de la adopción del producto, que está continuamente bajo la presión de las normas y la presión social; para cristalizarse, pasa a la fase *procesos psicológicos de más alto orden*, donde una vez identificados los criterios de la toma de decisiones, la valoración de los atributos y la formación de actitudes hacia las alternativas propuestas, pasa a la fase de *toma de decisión y formación de la intención*, donde hay un proceso de análisis de información y selección, para luego realizar la *planificación, la iniciación y el control de los actos instrumentales* indispensables para generar la actuación que conlleva a la *realización del*

comportamiento o alcance del objetivo, para finalmente analizar la *satisfacción e insatisfacción* y realizar ajustes.

- Modelo de Utilización de las Tecnologías de la Información (UIT), propuesto por Moore y Benbasat (1991, 1996), que busca “predecir el uso de los ordenadores personales, que supone una innovación” a través de 39 ítems para medir cómo influyen las creencias de comportamiento (utilidad percibida, imagen, facilidad de uso, compatibilidad, prueba, visibilidad, demostrabilidad de los resultados, eludimiento), las creencias normativas y la voluntariedad sobre la actitud de adopción de TI y en el comportamiento de uso.
- Modelo de Adopción de las Tecnologías de la Información (AIT), que amplía el modelo UIT, agregando la variable de intención de comportamiento hacia la adopción de TI.

Otro modelo ampliamente utilizado es el de la Teoría Unificada de la Aceptación y Uso de la Tecnología (UTAUT), propuesto por Venkatesh et al. (2003), que intentó unificar todos los modelos que existían hasta la fecha de su creación. Para este modelo existen cuatro constructos (expectativa de desempeño, expectativa de esfuerzo, influencia social, condiciones facilitadoras) moderados por cuatro factores (genero, edad, experiencia, voluntariedad de uso) que influyen en diferentes medidas en la intención de uso y en el uso final de la tecnología.

Capítulo IV: Metodología

Caracterización de la investigación

Esta investigación, según su propósito, es una investigación aplicada. De acuerdo con Hernández-Sampieri et al. (2014), este tipo de investigación tiene como propósito dar solución a situaciones o problemas concretos e identificables. Por lo que, al detectar el problema, se aplicó procedimientos para brindar soluciones, para luego del análisis de los datos recopilados de nuestro público objetivo, se brindó una propuesta de solución, generando conocimiento que será aplicado en la realidad a fin de modificarla.

Según la naturaleza de objetivos y el nivel de conocimientos o la profundidad del objeto de estudio es una investigación descriptivo-propositiva, porque permite destacar los aspectos fundamentales de las *blockchains* mediante el diagnóstico y las opiniones de los profesionales del área y proponer la elaboración de una hoja de ruta de mejora del proceso de facturación de energía eléctrica.

Según la naturaleza de datos, es una investigación cualitativa dado que se realizó la recolección de datos utilizando técnicas cualitativas como la entrevista; según Guerrero (2016), “la investigación cualitativa se centra en comprender y profundizar los fenómenos, analizándolos desde el punto de vista de los participantes en su ambiente y en relación con los aspectos que los rodean”, dado que existe la necesidad de conocer, desde la perspectiva de los principales participantes del sector, el estado actual y el futuro de la tecnología en la industria que permitan trazar la hoja de ruta.

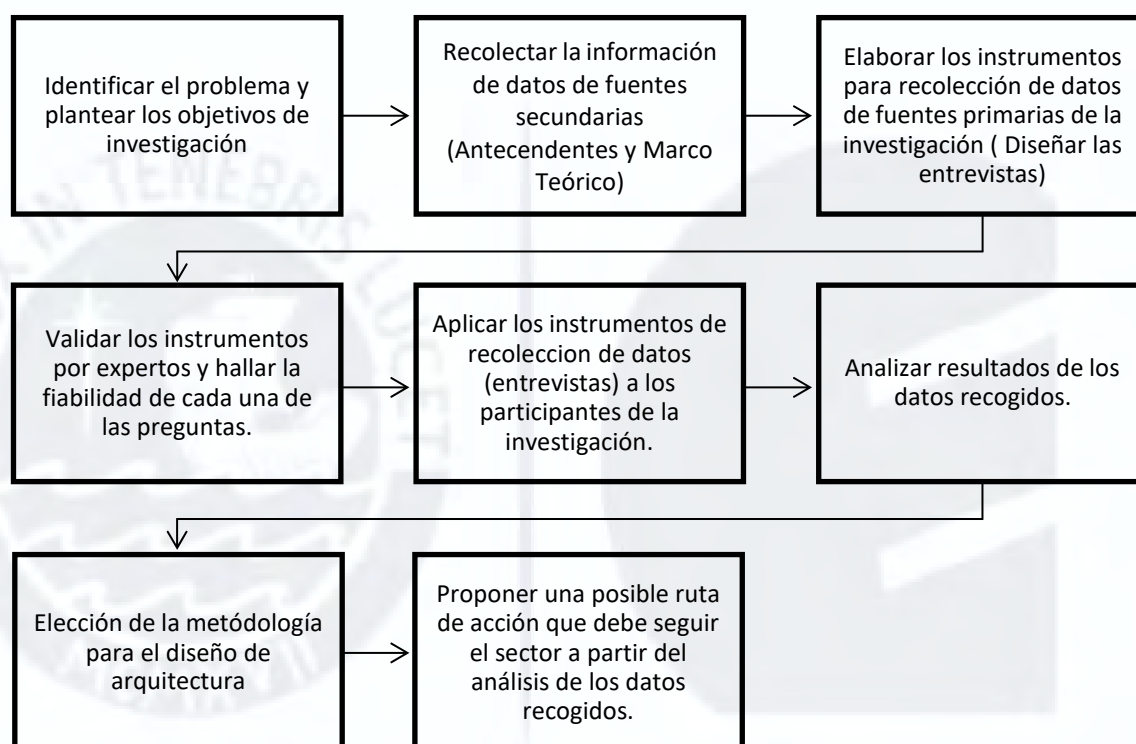
Según la manipulación de las variables, es una investigación no experimental, debido a que no se manipulan las variables en el desarrollo de esta investigación, solo se va a observar los acontecimientos sin intervenir en los mismos (Hernández 2014). Y según su temporalidad, es transversal ya que la medición de los datos se realiza en un solo momento de la investigación.

El proceso de la investigación

El proceso de investigación realizado para el logro de los objetivos fue el que se muestra en la figura 10:

Figura 10

Proceso de Investigación



También se elaboró la matriz de operacionalización de las variables de interés, llevando el concepto desde su presentación en el nivel abstracto, definido teóricamente, hasta la identificación de los indicadores que serán representados por los reactivos (preguntas) en la guía de entrevista. La operativización de las variables con las dimensiones e indicadores se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Matriz de la operacionalización de las variables de la investigación

Variables	Concepto	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Roadmap de incorporación de tecnología <i>blockchain</i>	Técnica que estructura la planificación y el desarrollo estratégico, la exploración del crecimiento y el seguimiento de acciones que permitan introducir la tecnología <i>blockchain</i> .	Estado de la tecnología actual en el sector energético y requisitos tecnológicos del sector para la adopción de la tecnología <i>blockchain</i> en el proceso de facturación de consumo por la electricidad Capacidad empresarial de gestión del proceso de adopción de la tecnología <i>blockchain</i> en la facturación de consumo por la electricidad Impactos percibidos del potencial de la adopción de la tecnología <i>blockchain</i> en el proceso en la facturación de consumo por la electricidad	- Tipo de tecnología actual del sector de comercialización de energía. - Grado de compromiso con la modernización tecnológica del sector - Nivel de competencias / conocimiento en RR. HH sobre la tecnología <i>blockchain</i> y similares - Grado de impacto en la normatividad del sector para la implementación del sector - Grado de aceptación de innovaciones en el sector energético (percibido) - Cambios posibles en el proceso de facturación al implementar la tecnología <i>blockchain</i> - Grado de aceptación percibido de los consumidores al implementar la tecnología <i>blockchain</i>	

		Proceso de adopción de la tecnología blockchain en el proceso de facturación de consumo por la electricidad	- Nivel de intervención de los actores para la adopción tecnológica de blockchain Grado de compromiso de intervención de los actores para la adopción tecnológica Grado de importancia de implementación <i>blockchain</i>
Proceso de facturación de energía eléctrica	Actividades del sector de distribución de energía relacionadas para medir y generar un cobro por el consumo de energía por los clientes del servicio	Actividades del proceso Problemas del proceso Datos e información del proceso	- Características de las principales actividades del proceso - Nivel de automatización de cada una de las actividades. - Tipo de problemas del proceso de facturación - Características de los datos e información que genera cada una de las actividades.

Esta matriz permitió identificar los ítems que deben tener los instrumentos de investigación, para recolectar la información necesaria que nos permita dar respuesta a nuestra pregunta de investigación y lograr los objetivos propuestos.

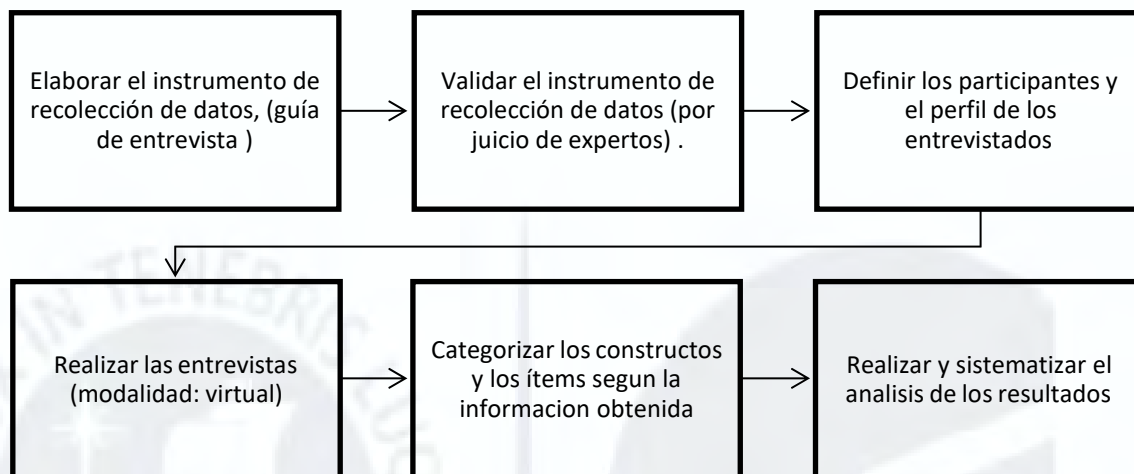
Diseño de la Investigación

El primer hito del proceso de la investigación fue el logro del objetivo específico 1 que planteaba diagnosticar el estado actual de la preparación (*readiness*) de la empresa de distribución de electricidad en la adopción de la tecnológica del *blockchain* para la gestión de

datos e información crítica y vulnerable en el proceso de facturación por el consumo de electricidad. Para alcanzar este logro se realizaron las actividades presentadas en la figura 11.

Figura 11

Mapa de las actividades para el logro de Objetivo Especifico 1



Se determinó que la recolección de la información necesaria para el logro del objetivo se realizara empleando la técnica de la entrevista, para la cual se diseñó el instrumento en formato de guía de entrevista semiestructurada, que contiene un conjunto de preguntas relevantes cuyas respuestas nos ayudaron a lograr el objetivo planteado. Según Hernández-Sampieri (2014) “Las entrevistas semiestructuradas se basan en una guía de asuntos o preguntas y el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información”. Para la aplicación de la técnica de la entrevista, se han definido siguientes elementos:

- **Participantes de la Investigación.** Los participantes de la entrevista son profesionales de las empresas de distribución, docentes e investigadores que conocen el estado actual del proceso de facturación y tienen conocimientos sobre la tecnología *blockchain*.

- **Muestra.** Para seleccionar la muestra de la población de este estudio, se realizó el método no probabilístico, muestreo por conveniencia; teniendo en cuenta que los participantes cumplieran con los requisitos y las características descritas. Según Hernández-Sampieri (2014), al utilizar este tipo de muestreo, “el procedimiento no es mecánico ni se basa en fórmulas de probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo de investigadores”; por tal motivo, es el investigador el que selecciona casos o unidades por uno o varios propósitos y no pretende que los casos sean estadísticamente representativos de la población sino a elección del investigador.
- **Intervención.** Para la aplicación de la entrevista se tomó en cuenta los siguientes medios para la recopilación de datos:
 - i. Se contactó con los candidatos seleccionados mediante llamadas telefónicas, informándoles sobre la investigación para contar con su participación.
 - ii. Se coordinó con cada uno de los entrevistados, se envió las preguntas a través de Google Forms para que, de acuerdo con su disponibilidad, pudiesen acceder a la entrevista virtual.
 - iii. Se realizaron las entrevistas.
- **Instrumento de medición.** Para diseñar el instrumento que permita la obtención de la información relacionada con la identificación de las especificaciones y los requerimientos de adopción de la tecnología *blockchain*, y caracterizar el flujo de datos e información en las actividades del proceso de facturación en las que se podría incorporar la tecnología *blockchain*, se contempló que la guía tuviese tres secciones: la primera, relacionada con conocer los datos personales de los entrevistados; la segunda parte con preguntas relacionadas a la adopción de la tecnología *blockchain*, y

la tercera parte con la caracterización de flujo de datos e información del proceso de facturación de energía eléctrica. En total se realizaron 22 preguntas (Ver anexo 01).

El instrumento fue puesto a prueba con la técnica de validación de contenido por juicio de expertos (Hernández-Nieto, 2002), donde tres (03) expertos en investigación y tecnología validaron cada una de las preguntas (ítems) del cuestionario (Ver anexo 2 con el formato de la evaluación). Los resultados de la opinión y los juicios de los expertos fueron analizados con la aplicación del estadístico V de Aiken, mostrando los resultados presentados en la tabla 3.

Tabla 3

Validez y Confiabilidad de las preguntas del cuestionario

<u>Ítems</u>	<u>V Aiken</u>
Ítem 1	0.94
Ítem 2	0.89
Ítem 3	0.92
Ítem 4	0.89
Ítem 5	0.97
Ítem 6	0.94
Ítem 7	0.94
Ítem 8	0.89
Ítem 9	0.94
Ítem 10	0.89
Ítem 11	0.92
Ítem 12	0.94
Ítem 13	0.92
Ítem 14	0.89
Ítem 15	0.94
Ítem 16	0.92
Ítem 17	0.92
Ítem 18	0.92
Ítem 19	0.94
Ítem 20	0.81
Ítem 21	0.92
<u>Ítem 22</u>	<u>0.92</u>

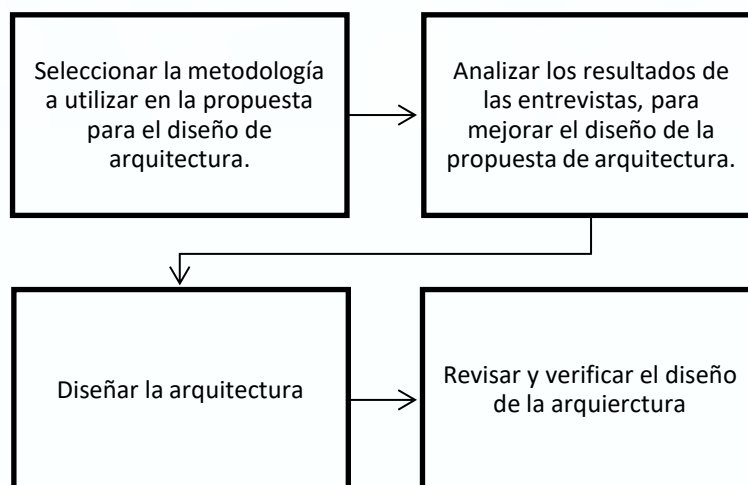
Se observó que todos los ítems pasaban del 0.78 por lo que fueron válidos para aplicar el instrumento.

- **Análisis e Interpretación de Datos.** Para realizar el análisis e interpretación de datos cualitativos de la información obtenida en las entrevistas, se aplicó el proceso descrito por Hernández-Sampieri(2014) para generar categorías o temas. Es decir que, al terminar de recolectar los datos, se realizaron los siguientes pasos: i) revisar todos los datos para obtener un panorama general, ii) organizar los datos e información, determinando criterios de organización ,iii) preparar los datos, principalmente transcribir los datos verbales en texto, iv) descubrir las unidades de análisis o significado, finalmente, v) realizar la codificación de las unidades designado categorías.

Para el logro del objetivo específico 2, que plantea proponer un diseño de la arquitectura de sistemas requerida para incorporación de *blockchain* en la infraestructura informática de la empresa de distribución de electricidad, se realizaron las actividades descritas en la figura 12.

Figura 12

Mapa de las actividades para el logro de Objetivo Especifico 2

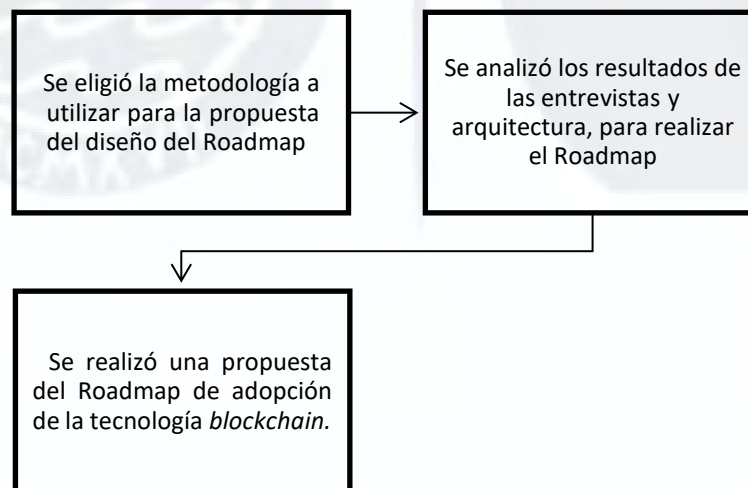


Para el diseño de la arquitectura de solución de *software* a alto nivel, requerida para incorporación de *blockchain* en la infraestructura informática de la empresa de distribución de electricidad, se utilizó el método de ingeniería de software denominado AUP (*Agile Unified Process*) porque integra técnicas ágiles y el UP (Proceso Unificado) que es un marco de desarrollo iterativo e incremental que divide el trabajo en fases que permiten gestionar el producto entregable y la gestión del proyecto; Se considera esta metodología porque reduce la documentación excesiva y se centra en la entrega de valor de manera temprana, permitiendo la gestión del cambio y de riesgos (Scott, 2015).

Finalmente, para alcanzar el objetivo específico 3, que plantea proponer una posible ruta de adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad, se realizaron las actividades propuestas en la figura 13.

Figura 13

Mapa de las actividades para el logro de Objetivo Especifico 3



Para realizar las rutas de acción del sector se utilizó el *roadmap* (conocido en español como hoja de ruta) el cual permitirá visualizar la implementación de *blockchain* en el proceso de facturación del consumo de energía eléctrica; asimismo, como orientador de la construcción del *roadmap*, se utilizará el estudio elaborado por Phaal (2004) denominado *Technology roadmapping – A planning framework for evolution and revolution*.

Asimismo, para la presente investigación se utilizó el Modelo de Madurez de la Capacidad (CMMI), basado en un esquema de capacidad de los procesos que va de 0 a 5 y que se detallan a continuación:

- Nivel 5 - Proceso de Optimización: La organización cuenta con procesos optimizados. El proceso es mejorado continuamente para alcanzar metas de negocio actuales y futuros, logra su propósito, está bien definido, su rendimiento se mide para mejorar el desempeño y se persigue la mejora continua.
- Nivel 4 - Proceso Predecible: La organización cuenta con procesos predecibles. El proceso es ejecutado de manera consistente dentro de unos límites definidos, logra su propósito, está bien definido y su rendimiento se mide de forma cuantitativa
- Nivel 3 - Proceso Consolidado: La organización ha establecida procesos que están bien definidos, que utiliza procedimientos estandarizados y logran su propósito de forma organizada usando activos de la organización.
- Nivel 2 - Proceso Gestionado: El proceso realizado descrito previamente está implementado ahora de una manera administrada (planeada, supervisada y ajustada) y sus productos de trabajo están establecidos, controlados y mantenidos adecuadamente.
- Nivel 1 - Proceso Realizado: El proceso implementado logra su propósito.
- Nivel 0 - Proceso Incompleto: El proceso no se ejecuta o no logra su propósito. En este nivel hay poca o ninguna evidencia de algún logro sistemático del propósito del proceso.

Consideraciones éticas

Para la recolección de datos del público objetivo, se comunicó a los participantes de la encuesta el propósito y la finalidad del uso de los resultados de la encuesta, a través de un consentimiento informado para el cuestionario, con el fin de que las personas confirmen su participación voluntaria en la investigación. Cabe resaltar que, en la aplicación de este

instrumento, se recogen los datos personales de los participantes, por ser relevantes para este estudio; por lo que fue necesario brindarle la seguridad de que sus datos serán tratados con privacidad y solo para fines de esta investigación (Ver anexo 3). Se expresó en todo el proceso de recolección de datos que la información recibida de los participantes o grupos de investigación son confidenciales y solo para fines de esta investigación.



Capítulo V: Resultados

En este capítulo se presentan los datos obtenidos en el levantamiento de información de las entrevistas realizadas a especialistas en el sector de energía eléctrica y la construcción de los artefactos como arquitectura y roadmap.

Objetivo específico 1 - Diagnosticar el estado actual de la preparación (*readiness*) de la empresa de distribución de electricidad en la adopción de la tecnología del *blockchain* para la gestión de datos e información crítica y vulnerable en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

Según los entrevistados la empresa de distribución de electricidad no se encuentra preparada para adoptar la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación, principalmente por dos razones importantes que se detallan a continuación:

- *La madurez tecnológica en el sector.* -A partir de las entrevistas, se puede considerar que el nivel de madurez tecnológica del sector está en la etapa inicial de adopción tecnológica. En el momento actual se encuentran utilizando tecnología tradicional y rudimentaria.
- *Necesidad de condiciones previas.* – Para los entrevistados, antes de implementar *blockchain*, se deben producir condiciones: a) Internas, como el levantamiento de información del estado actual del sector, la modernización de los sistemas de medición con IOT, la preparación, el entrenamiento o la captación de personal capacitado en tecnología *blockchain* con posibilidad para armar una estrategia de implementación y el cambio cultural de adopción tecnológica de *blockchain*. b) Externas: como la bancarización de los clientes, un sistema que permita la liberación de la energía y su posible producción por diferentes actores, cambios en la regulación

vigente, dado que no permite la adopción de tecnologías emergentes como *blockchain*.

Desde el punto de vista de los entrevistados, las tecnologías emergentes que se pueden implementar en el sector para mejorar el proceso de facturación son: Internet de las Cosas (IOT), 5G, Cloud Computing, Analítica Avanzada, BigData y *blockchain*. Entre los beneficios que traería la integración de estas tecnologías serían el manejo eficaz del pago de los consumos de energía eléctrica, reducción de las tarifas, integración, mediciones en tiempo real y seguridad.

En consecuencia, los entrevistados concuerdan con la posibilidad de introducir *blockchain* en el proceso de facturación, principalmente porque brindaría al sector un nivel mayor de automatización, a través de los *smart*-contratos, brindaría la posibilidad de convertir a los consumidores en productores de energía y contribuiría a la trazabilidad y el registro de las mediciones. A la vez, los entrevistados reconocen que la seguridad, la trazabilidad y la transparencia de la información son las características principales de *blockchain*, que impactarían de forma positiva en el proceso de facturación del consumo de energía eléctrica.

Con respecto a los actores clave para la implementación de *blockchain*, los entrevistados, consideran que los principales son: i. La empresa distribuidora, ii. El Estado, a través de las leyes (la regulación vigente no permitiría la implementación de *blockchain*) iii. Los consumidores, los cuales no se encuentran preparados, tienen limitaciones y utilizan recursos tradicionales.

Sobre el proceso de facturación, las principales actividades que identificaron los entrevistados fueron las siguientes:

- La carga de precios en el sistema,

- Lectura de medidores en terreno para cálculo de consumo, ya sea por empresas contratistas o personal propio.
- Análisis y revisión de las lecturas, por personal de analítica de la empresa distribuidora.
- Procesamiento de las lecturas.
- Valorización de esos consumos.
- Generación de la prefacturas.
- Verificación de los datos de las prefacturas.
- Generación de facturas.
- Cobranza de las facturas.

De estas actividades, los entrevistados manifestaron que las que se caracterizan por la gestión de datos e información crítica y vulnerable es la lectura de medidores y la carga de estas lecturas al sistema, dado que es susceptible la manipulación de los datos. Por lo que, una mejora de la lectura de datos de los medidores, en el terreno, impactaría en la confiabilidad, la transparencia y la integridad de la información.

Otro punto crítico considerado por los entrevistados, es que los consumidores no conocen cómo realizar un reclamo o verificar si el consumo que está en su factura es el mismo consumo que registra su medidor, por lo que se quedan con la percepción de un cobro abusivo o errado.

Para los entrevistados, las acciones que realizan en la actualidad para la protección de datos son las siguientes:

- No alterar la información obtenida en el campo e implementar niveles de control y seguridad,
- Validar y analizar la lectura del medidor antes de dar conformidad al dato a emplear,

- Velar por el cumplimiento del contratista
- Buscar formas de mejorar la trazabilidad de la información, frente a cualquier modificación.

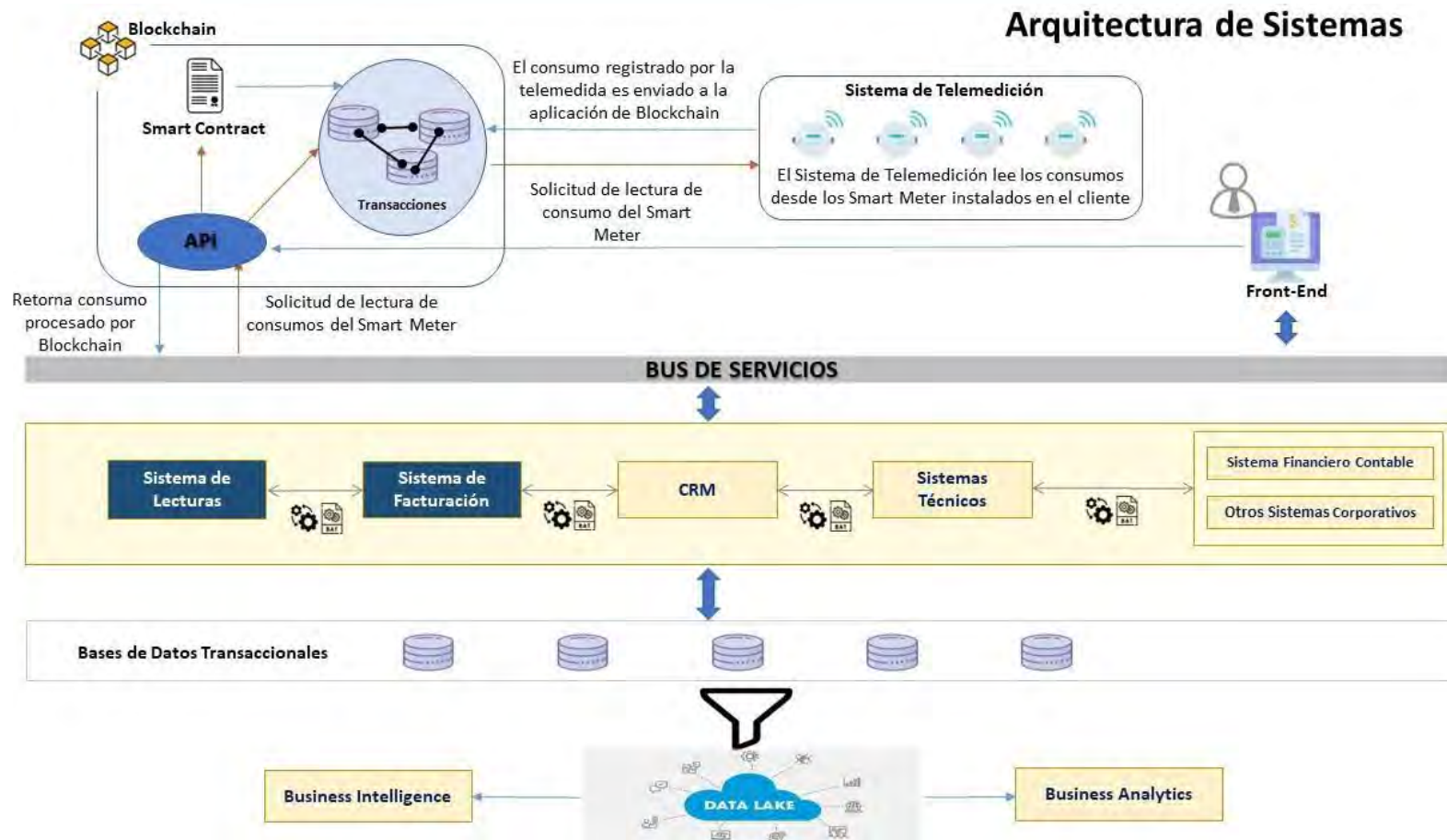
Finalmente, para los entrevistados, el horizonte temporal en el que se podría implementar la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación, sería de un promedio de 5 años y el impacto que ocasionaría sería positivo, dado que el consumidor y el generador tendrían más garantías; además, el abaratamiento de costos por el uso de smart-contratos que permitiría mejorar la atención al cliente o incluso el abaratamiento de la energía, de igual modo, ayudaría a la trazabilidad de las lecturas.

Objetivo Especifico 2 – Proponer un diseño de arquitectura de sistemas de alto nivel requerida para incorporación de *blockchain* en la infraestructura informática de la empresa de distribución de electricidad

La arquitectura de software propuesta busca definir a alto nivel las principales aplicaciones informáticas esenciales para atender las operaciones de una empresa de distribución de energía eléctrica y modelar como se integrará la tecnología *blockchain* con estas aplicaciones. Es un modelo de referencia que soporta el *roadmap* de adopción de tecnología *blockchain* por el que las empresas tienen que atravesar durante la evolución de sus procesos de negocio, afectados por variables internas y externas para mantener su competitividad en su nicho de mercado. El modelo de arquitectura se presenta en la figura 14.

Figura 14

Arquitectura de aplicaciones de la empresa de energía eléctrica y la integración de blockchain



La arquitectura propuesta está compuesta por una capa de aplicaciones base, que se encargaran de ejecutar las transacciones de los diferentes procesos de la empresa, donde se consideró que debe existir un sistema de lectura de consumos de medidores que permita el registro de los consumos de electricidad que realizan los clientes, de acuerdo con la tecnología de los medidores electromecánicos, electrónicos o *smartmeters*. Estos consumos se registran en diferentes intervalos de tiempo, los datos de esta aplicación son los datos de entrada para el sistema de facturación que es la aplicación que se encargará de gestionar todo el proceso de cálculo; la emisión de las facturas que se envían al cliente final puede ser una aplicación independiente o parte de un sistema legado de gestión comercial. Estas aplicaciones base de una empresa de electricidad se deberán complementar con un sistema de telemedición de *smartmeters*, responsable de la comunicación y la lectura de datos desde la infraestructura física de distribución de electricidad, y una aplicación informática. Cuando estas aplicaciones se encuentren operando correctamente y sin errores permitirán la implementación de la plataforma *blockchain*, la cual contará con las siguientes características: i. la implementación de una *blockchain* privada bajo el control de una autoridad central, ii. establecimiento de un gobierno que permita cambiar las reglas desde la autoridad central, iii. velocidad de transacciones alta y expansión de la red, iv. prueba de transacción definida por la autoridad central, v. permisos de escritura habilitados al operador de la red, vi. permisos de lectura pública o restringida, vii. alta eficiencia y proceso de consenso con permisos.

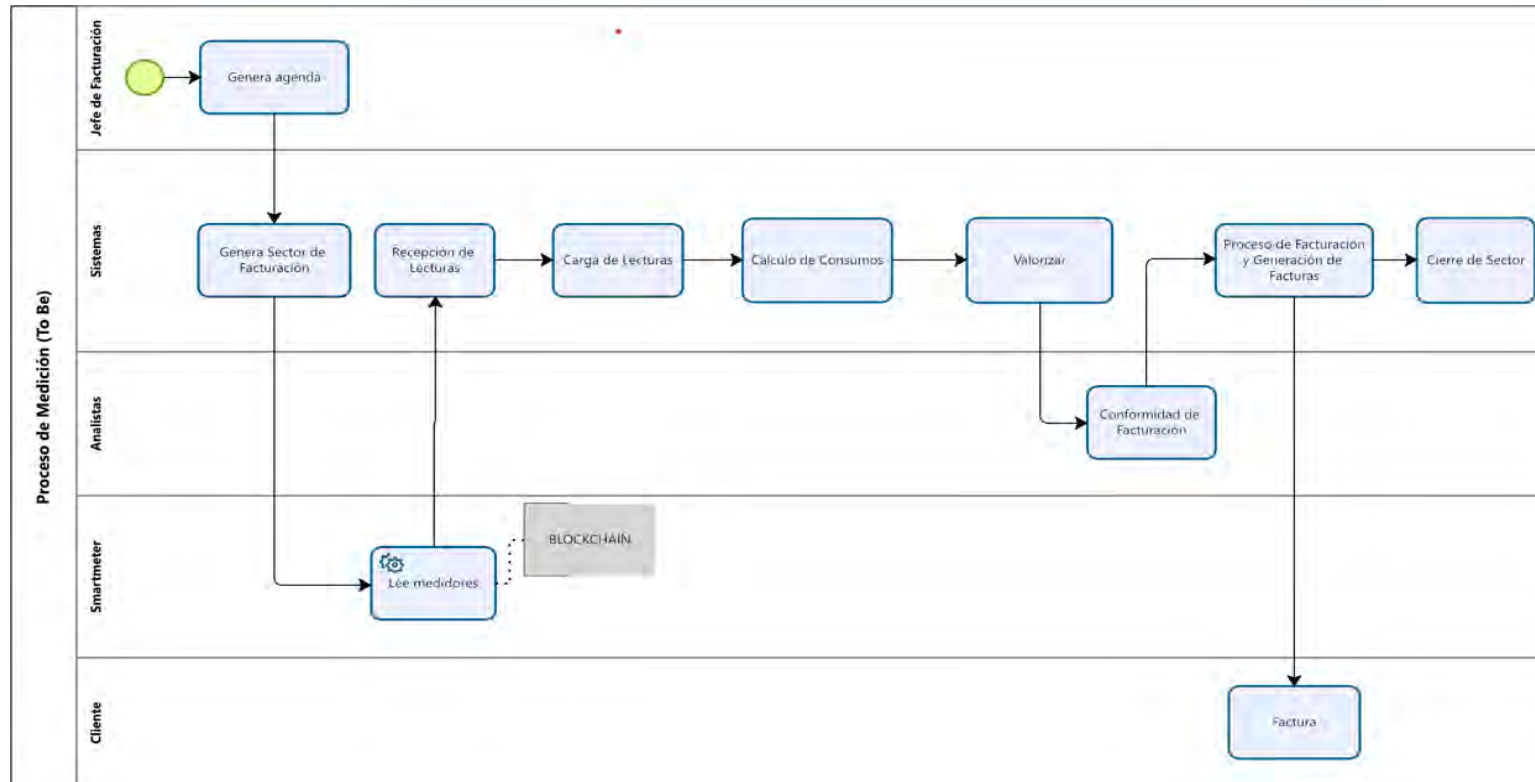
La inclusión de la tecnología *blockchain* en la lectura de medidores inteligentes de electricidad permitirá la automatización de la captura de datos de los registros de los consumos que realizan los clientes en tiempo real de forma segura. Estos datos son enviados al sistema de facturación; siendo el dato fiable, las operaciones y cálculos son realizados sin

reprocesos adicionales, permitiendo la trazabilidad e integridad del dato. El proceso de facturación TO-BE se muestra en la figura 15.



Figura 15

Proceso Facturación del Consumo de Energía Eléctrica – TO BE



Los principales atributos de la calidad que deben cumplir las aplicaciones detalladas en la arquitectura propuesta son la disponibilidad, interoperabilidad, rendimiento, confiabilidad, seguridad, confiabilidad y usabilidad, como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4

Principales atributos de calidad que deben cumplir las aplicaciones

Atributo	Código	Definición	Descripción	Criterio de Aceptación
Disponibilidad	REQNF01	Los sistemas no deberán bloquear o congestionar el ancho de banda en sus conexiones y extracción de información con otros sistemas.	Debe contar con herramientas de y técnicas de extracción adecuadas (bulkhead).	No congestionar el ancho de banda a niveles de bloqueo funcional de otras aplicaciones.
Interoperabilidad	REQNF02	Los sistemas de ser necesario deberán cargar datos generados por otras aplicaciones	Se debe contar con un módulo para la carga de datos de otras aplicaciones	Lectura de archivos de hojas de cálculo, archivos planos y transferencia automática de datos o por procesos batch.
Rendimiento	REQNF03	Los sistemas deberán tener una capacidad de respuesta para consultas externas (conexiones) de x segundos como tolerancia en entornos de cantidad de datos extensos (extracción de datos), en un entorno de baja demanda.	Se deberá de gestionar las posibilidades de cache a nivel de BD y de las diversas zonas HTML.	Tolerancia de XXX segundos. Definida por la unidad de negocio para cada transacción crítica
Confiabilidad	REQNF04	Los sistemas deberán contar con un registro de los eventos relacionados a fallas.	Deberá ser fácilmente gestionada para identificar la falla y su solución.	Registro de logs de eventos en las operaciones principales de flujo de datos.
	REQNF05	Los sistemas deberán ser diseñados y desarrollados sobre una plataforma orientada a servicios.	Deberá de definir y utilizar capas, orientándola a capas de datos, lógica, servicios e interfaz.	Arquetipo de solución basada en servicios.
Escalabilidad	REQNF06	Los sistemas deberán estar basados en Tecnología Web.	Utilizando el protocolo HTTP para la aplicación web.	Ejecución a través de los navegadores web y protocolo http.
	REQNF07	Los sistemas deberán ser escalables, de fácil mantenimiento y actualización, sobre la base de un desarrollo evolutivo e incremental.	Deberá tener bajo nivel de acoplamiento y enfocado a la reutilización de recursos lógicos.	Basado en una solución estándar definidos por la empresa para el arquetipo de software orientado a servicios principalmente.
Seguridad	REQNF08	Los sistemas deberán contar con mecanismos de autenticación que permita validar el ingreso de un	Deberá contar con una gestión de usuarios proveniente de una única Base de Datos, en la cual	El sistema utilizará los usuarios de la aplicación Intranet.

		determinado usuario a la aplicación.	se consolidarán todos los usuarios.	
	REQNF09	Los sistemas deberán de contar con mecanismos de autorización (accesos) al nivel de página por parte de los usuarios.	Deberá contar con una gestión de Roles, Usuarios y Perfil (acciones) las cuales estarán asociadas a páginas web de la aplicación.	El nivel de acceso debe ser el mismo que defina la empresa para todas sus aplicaciones
Usabilidad	REQNF10	Los sistemas podrán ser usado sin inconvenientes como mínimo en los navegadores IE, Firefox, Chrome, Safari	Deberá ser orientado a la plataforma estándar definida por la empresa.	IE8+ Mozilla Firefox 7+ Chrome 11+ Safari 5+

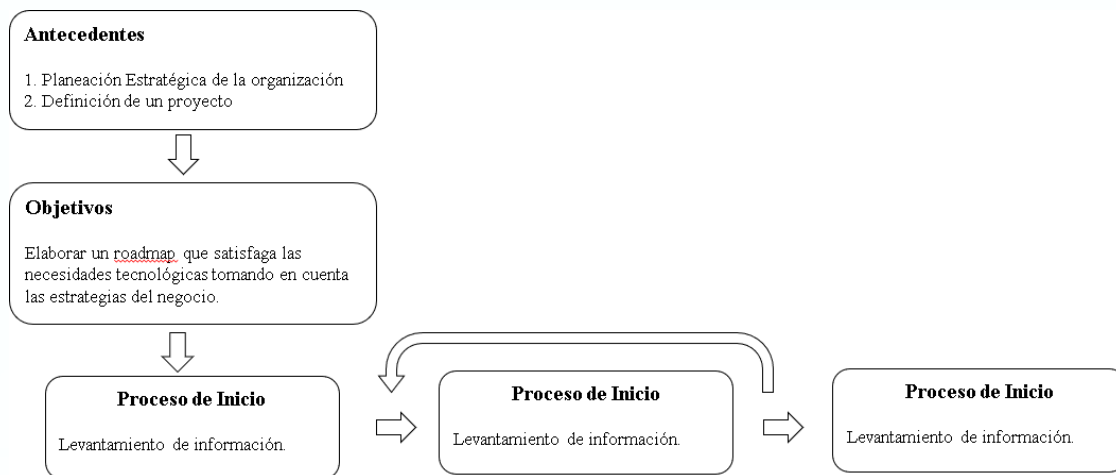
Objetivo Especifico 3 – Describir una posible ruta de adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

El *roadmap* propuesto es una herramienta de referencia que proporciona información para ayudar a tomar mejores decisiones de inversión en tecnología, proponiendo las actividades a seguir respecto a los procesos de negocio, los sistemas informáticos, la infraestructura tecnológica y la capacidad de recursos humanos. De esta manera, se muestra un camino estructurado para identificar, evaluar y seleccionar la alternativa tecnológica desde una perspectiva de corto, mediano y largo plazos que puedan hacer viable la adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación de una empresa de distribución de electricidad.

A partir de la bibliografía revisada y las entrevistas realizadas, se realizó un esquema general de la elaboración del *roadmap*, que se muestra en la figura 16.

Figura 16

Esquema general de elaboración del roadmap



La elaboración del *roadmap* tuvo en cuenta las siguientes dimensiones: i) procesos de negocio, normativa y reglamentación legal del sector, ii) los sistemas informáticos, iii) la infraestructura tecnológica y iv) la capacidad de recursos humanos; que deben ser adoptadas en el corto, el mediano y el largo plazos para lograr una madurez tecnológica que permitirá la integración de *blockchain* al proceso de facturación.

A continuación, se presenta la gráfica del *roadmap* propuesto en esta investigación, así como las actividades comprendidas en los procesos de negocio, normativa y reglamentación legal del sector; acciones a considerar para los sistemas, acciones a considerar para la infraestructura y acciones a considerar en el manejo de los recursos humanos, como se muestra la figura 17.

Figura 17

Roadmap de la integración de la tecnología blockchain en una empresa de electricidad

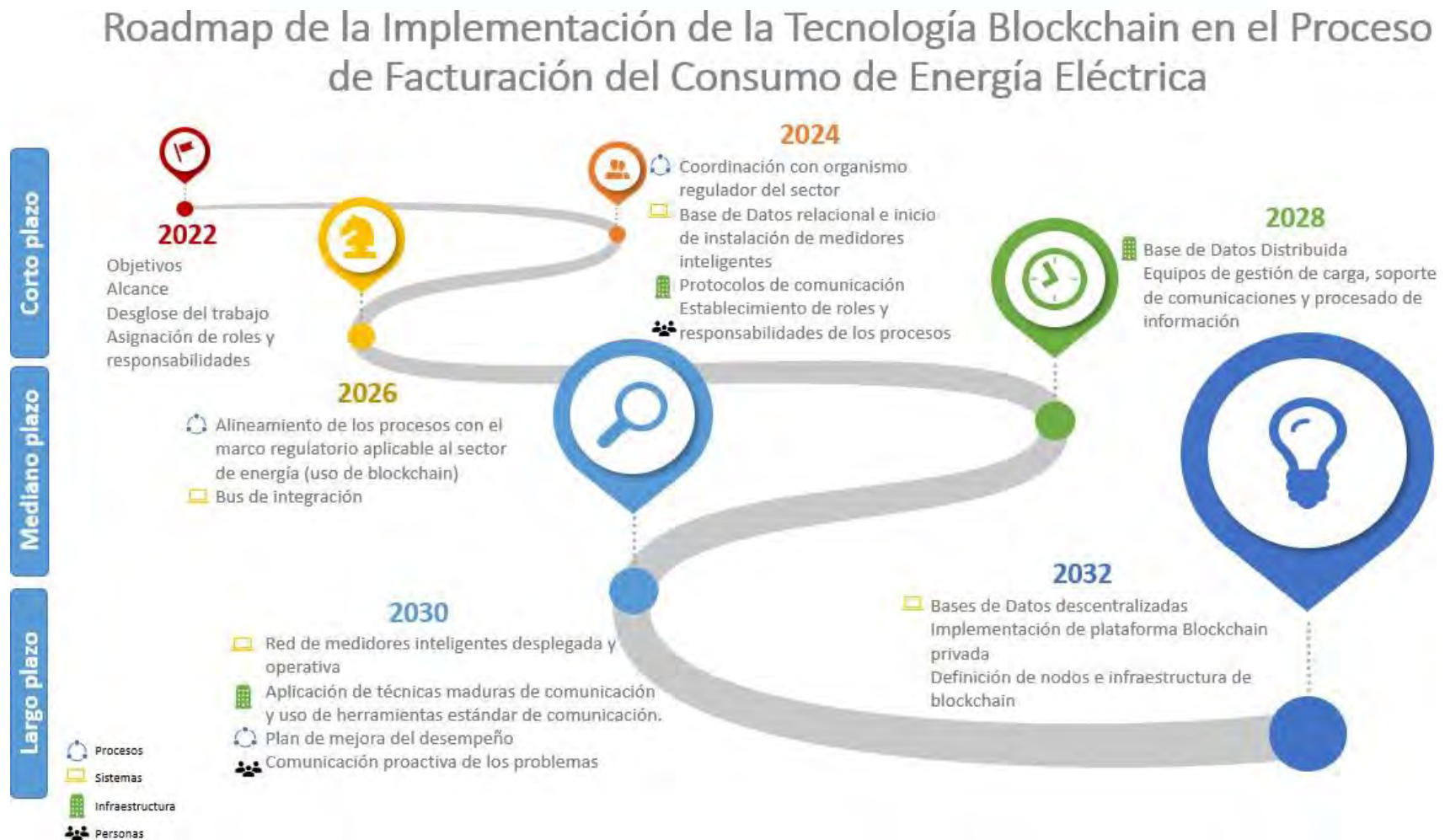


Figura 18

Roadmap de la integración de la tecnología blockchain en una empresa de electricidad - Actividades

Roadmap de la Implementación de la Tecnología Blockchain en el Proceso de Facturación del Consumo de Energía Eléctrica

Que	Prioridad		Tiempo	Estado
	Bajo	Alto		
Procesos de negocio, normativa y reglamentación legal del sector				
Coordinación con organismo regulador del sector	[Barra de prioridad alta]		Corto plazo	En proceso
Alineamiento de los procesos con el marco regulatorio aplicable al sector de energía (uso de blockchain)	[Barra de prioridad alta]		Mediano plazo	No iniciado
Plan de mejora del desempeño	[Barra de prioridad alta]		Largo plazo	No iniciado
Sistemas				
Base de Datos relacional	[Barra de prioridad alta]		Corto plazo	No iniciado
Bus de integración	[Barra de prioridad alta]		Mediano plazo	No iniciado
Instalación de medidoras inteligentes	[Barra de prioridad alta]		Mediano plazo	No iniciado
Bases de Datos descentralizadas	[Barra de prioridad alta]		Largo plazo	No iniciado
Implementación de plataforma Blockchain privada	[Barra de prioridad alta]		Largo plazo	No iniciado
Infraestructura				
Protocolos de comunicación	[Barra de prioridad alta]		Corto plazo	No iniciado
Base de Datos Distribuida	[Barra de prioridad alta]		Mediano plazo	No iniciado
Equipos de gestión de carga, soporte de comunicaciones y procesamiento de información	[Barra de prioridad alta]		Mediano plazo	No iniciado
Definición de los nodos e infraestructura de blockchain	[Barra de prioridad alta]		Largo plazo	No iniciado
Personas				
Establecimiento de roles y responsabilidades de los procesos (OK)	[Barra de prioridad alta]		Corto plazo	En proceso
Comunicación proactiva de los problemas	[Barra de prioridad alta]		Mediano plazo	No iniciado

Como se puede observar el *roadmap* propuesto presenta cuatro dimensiones que se describen a continuación:

1. *Procesos de negocio, normativa y reglamentación legal del sector*

Con el fin de cumplir con los objetivos organizacionales, cada empresa debe establecer, personalizar y sostener un sistema a partir de una serie de componentes que, de forma individual o colectiva, contribuyen a su buen funcionamiento.

Las actividades en esta área en el corto, el mediano y el largo plazo que se deben desarrollar tanto para obtener los niveles de capacidad necesarios para determinar y definir el proceso de facturación, elaborando los instructivos operativos principalmente de las actividades de la toma de lectura de medidores, controles de gestión y poder de esta manera dar cumplimiento a los aspectos regulatorios relacionados, se plantean a continuación.

En el corto plazo, la organización debe encontrarse en un grado de madurez Nivel 3, desarrollando las siguientes actividades:

- Registros de desempeño del proceso
- Políticas y estándares
- Registros de calidad
- Plan del proceso
- Documentación del proceso, y
- Reuniones de coordinación con el organismo regulador del sector para establecer acuerdos de operación.

En el mediano plazo, la organización debe encontrarse en un grado de madurez Nivel 4, siendo las actividades que se deben considerar en esta etapa:

- Establecer un plan de control del proceso.
- Plan de medida del proceso; y

- Alineamiento de los procesos al marco regulatorio aplicable al sector de energía para el uso de la tecnología *blockchain*.

En el largo plazo, la organización debe encontrarse en un grado de madurez Nivel 5, siendo las actividades requeridas para esta etapa:

- Elaborar un plan de mejora del desempeño; y
- Establecer una mejora continua de los procesos regulados, fortaleciendo su cumplimiento.

2. *Sistemas*

En el corto plazo se debe contar con las aplicaciones informáticas y datos mínimos que soporten los principales procesos de negocio, como son contar con una base de datos relacional, un sistema de lectura de medidores y un ERP Gestión Comercial (Facturación/Atención al Cliente).

En el mediano, se debe contar con aplicaciones informáticas y datos que garanticen una alta disponibilidad, redundancia y concurrencia, además de implementar un bus de integración de datos, bases de datos distribuidas y un sistema de tele medición de medidores de *smartmeters*.

En el largo plazo se debe contar con aplicaciones informáticas y datos que permitan implementar las características de *blockchain* que son: distribuida, encriptada, inmutable y descentralizada, complementada con una capa de aplicaciones de interfases para explotar los datos de una plataforma *blockchain* privada con bases de datos descentralizada.

3. Infraestructura

En el corto plazo, la empresa debe implementar una infraestructura de redes eléctricas monitoreada y gestionada, la misma que debe contar con un soporte de comunicaciones, estableciendo protocolos mínimos de comunicación.

En el mediano plazo, la empresa debe implementar una infraestructura de redes eléctricas y comunicaciones informáticas que permitan el soporte para la telemedición de consumos de electricidad, con procedimientos de gestión de datos de la infraestructura de medidores inteligentes, instalación de equipos de gestión de carga, soporte de comunicaciones y procesamiento de información. En forma paralela, se debe realizar el reemplazo de los medidores electromecánicos o analógicos con la instalación de medidores inteligentes en la red de distribución de electricidad que atiende a los clientes.

En el largo plazo, la empresa debe implementar una infraestructura de redes eléctricas y comunicaciones informáticas optimizada que permita la gestión de los medidores inteligentes o *smartmeters*, garantizando la interoperabilidad entre los *smartmeters* y los sistemas de gestión de carga, estableciendo los nodos e infraestructura de *blockchain* y las capacidades de los sistemas de comunicación para que soporten el tráfico de datos, requeridos para la operación de la plataforma *blockchain*.

4. Personas

En el corto plazo se establece y difunden los roles y las responsabilidades para cada actividad y proceso operativo definido, garantizando, de esta manera, que todas las personas que son requeridas estén involucradas y den el soporte necesario para el cumplimiento de los objetivos. En esta etapa se deben establecer los canales de comunicación adecuados para que la información fluya correctamente a través de todas las líneas organizacionales.

En el mediano plazo, los requerimientos de habilidades se actualizan rutinariamente para todas las áreas, se asegura la capacidad para todas las áreas críticas y se fomenta la certificación. Se aplican técnicas maduras de entrenamiento de acuerdo con el plan de desarrollo del personal que haya establecido la empresa y se fomenta la compartición del conocimiento. Todos los expertos internos están involucrados y se evalúa la efectividad del plan de entrenamiento se garantizar la competencia del personal y se aplican técnicas maduras de comunicación utilizando herramientas estándar de comunicación

En el largo plazo, la organización fomenta de manera formal la mejora continua de las habilidades, con base en metas personales y organizacionales claramente definidas. El entrenamiento y la educación dan soporte a las mejores prácticas externas y al uso de conceptos y técnicas de vanguardia. La compartición del conocimiento es parte de la cultura empresarial y se implementan sistemas basados en conocimiento. Se emplea expertos externos y líderes de la industria como guías. Existe una comunicación proactiva de los problemas, basada en las tendencias; se aplican técnicas maduras de comunicación y se usan herramientas integradas de comunicación. Los propietarios de procesos tienen la facultad de tomar decisiones y medidas. La aceptación de la responsabilidad ha descendido en cascada a través de la organización de forma consistente.

Capítulo VI: Discusión de los Resultados

En este capítulo se muestra el análisis de los resultados obtenidos, en función de los objetivos de investigación. Esta investigación tuvo como propósito “Diseñar una hoja de ruta de la incorporación de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad”, principalmente determinar el estado actual de la empresa de distribución de electricidad para la adopción tecnológica de *blockchain* en el proceso de facturación, identificar las actividades que están caracterizadas por el manejo de datos, para poder proponer una arquitectura a alto nivel y *roadmap* de la introducción de *blockchain* en el proceso de facturación.

Objetivo Especifico 1 - Diagnosticar el estado actual de la preparación (*readiness*) de la empresa de distribución de electricidad en la adopción de la tecnológica del *blockchain* para la gestión de datos e información crítica y vulnerable en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

Para determinar el estado actual de preparación de la empresa de distribución de electricidad para la adopción tecnológica del *blockchain* en el proceso de facturación, es importante analizar tres factores que se describen a continuación:

Estado Tecnológico del Sector. En la rama tecnológica, desde la percepción de los entrevistados, la empresa de distribución de energía eléctrica no se encuentra preparada para la adopción de *blockchain*, ya que cuenta con un sistema muy tradicional y rudimentario que no permite en estos momentos la introducción de *blockchain*. Por otro lado, muchos investigadores concuerdan en que la implementación de *blockchain* en el mundo está en su etapa inicial o piloto, pero sus beneficios desde el aspecto tecnológico de automatización, seguridad y transparencia se están evidenciando (Schwab, 2016; Yahari, 2017; Ruzanna,

2018; Manoj, 2021). En el Perú el único proyecto en el sector de energía fue concebido en Arequipa, donde la empresa Seal, que distribuye la energía eléctrica en este departamento de Perú ha incorporado un elemento de *blockchain* en la actividad final del proceso de facturación: la emisión de la factura. Pero, según la opinión de los entrevistados de esta investigación, la actividad más crítica es la lectura de los medidores y el procesamiento de los datos. Por lo que una de sus propuestas parte por integrar la tecnología innovadora de IOT en la medición de los consumos para, después, integrar la tecnología *blockchain* con fines de la protección, seguridad y trazabilidad de los datos recogidos.

También, por medio de las entrevistas realizadas, se ha evidenciado, que no solo es necesaria la modernización tecnológica del sector, sino de todo el país para que los sistemas funcionen. Lo que concuerda con la propuesta de Albrecht et al. (2018), quienes mencionan que, para la implementación de una iniciativa *blockchain*, hay que tener presente la relación que existe en el aspecto tecnológico de la empresa y la sociedad, que va de la mano con la velocidad de las transacciones en los servicios de red y los mercados eléctricos, así como los costos de la transacción en estos mismos mercados y la transparencia de la información. Por tal motivo, se debería ver más allá de la modernización tecnológica de la empresa de distribución, también analizar la modernización tecnológica del país, para que las iniciativas de introducción de *blockchain* funcionen.

Finalmente, se puede afirmar que el sector energético del Perú aún no se encuentra preparado para la implementación de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación, por lo que se tiene que tomar decisiones previas para que se dé el escenario ideal para que la implementación pueda ser un beneficio para el sector.

Capacidad de los Recursos Humanos. - Otro punto importante es el estado de preparación de los recursos humanos que, según nuestros entrevistados, no conocen o tienen información

limitada del funcionamiento e incorporación de tecnologías innovadoras en el sector. Por lo que se podría afirmar que los recursos humanos que intervienen en el proceso no se encuentran preparados para enfrentar un cambio tecnológico tan grande, lo que brinda una oportunidad para poder identificar los recursos humanos claves para poder adquirirlos, capacitarlos y sensibilizarlos.

Normativa actual del sector. - Por otro lado, se presenta como un aspecto muy importante para la implementación de *blockchain* en el proceso de facturación, la modificación de la normativa vigente del sector el Perú. Por lo que se puede comprender que en el aspecto normativo aún el sector no está preparado y para implementar este tipo de tecnología implicaría un cambio en las principales leyes y reglamentos que se tiene en el país en torno a la facturación del consumo de energía entre las que se encuentran:

- Ley N° 27345 (2000): Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía
- Decreto Supremo N° 049-2005-EM (2005): Reglamento de Importación y Exportación de Electricidad.
- Decreto Supremo N° 064-2010-EM: Política Energética Nacional del Perú 2010-2040

Debe agilizarse la creación de nuevas normativas que promuevan la modernización del sector y propiciar que todas las instituciones y actores involucrados cuenten con toda la protección para realizar sus actividades de forma segura.

Para identificar las principales actividades del proceso de facturación del consumo de energía eléctrica, es importante partir por el proceso actual de facturación que ejecuta una empresa de distribución de electricidad en el Perú. Este se realiza principalmente de forma manual y el dato viaja a través de diversas aplicaciones dentro y fuera de la empresa; se

puede incurrir en error, algún tipo de falla en las comunicaciones y/o adulteración, por lo que el manejo de datos de forma tradicional representa un riesgo.

En el planteamiento del problema de esta investigación, se partió de la premisa de que los usuarios en su mayoría no conocían el proceso para realizar el reclamo por una factura errada, lo que se pudo confirmar con las entrevistas. En este sentido, los entrevistados mencionan que la mayoría de los consumidores no conocen como revisar si su facturación es la adecuada y se quedan con una percepción de consumo errado, pero no levantan su reclamo.

Para poder mejorar estas vulnerabilidades, se presenta como una alternativa el uso de tecnologías innovadoras que incluya *blockchain* en las actividades en las que los datos no puedan ser vulnerados o modificados. La preocupación por la protección de los datos se da debido a que una eminente modernización de los sistemas tecnológicos del sector de energía y de las empresas de distribución de energía supone una generación, transferencia y almacenamiento de datos, que deben circular de forma segura en todo el proceso.

La literatura de diferentes autores nos da a conocer la viabilidad del uso de *blockchain*, como Rennie et al., 2020 que proponen que, entre varias ofertas tecnológicas dedicadas a la protección de los datos operativos y empresariales, la implementación de tecnología *blockchain* incrementa la protección contra ciberataques. Del mismo modo, para Manoj (2021), los sistemas distribuidos de energía se vuelven verdaderamente inteligentes y más seguros al utilizar tecnologías como *blockchain*, lo que permite tener un flujo de datos altamente seguro entre los productores de energía, los comerciantes de energía, los comerciantes de emisiones y el personal de operación y mantenimiento. Finalmente, Del Rivero (2017) menciona que uno de los factores importantes en el futuro será la preocupación por los datos, cómo estos se utilizan, la seguridad y la privacidad de estos. Por estas razones

blockchain se presenta como aquella tecnología que permite la modernización del sector en la que los datos se encuentren protegidos, seguros y sean confiables.

Objetivo Especifico 2 – Proponer un diseño de arquitectura de sistemas de alto nivel requerida para incorporación de *blockchain* en la infraestructura informática de la empresa de distribución de electricidad

La implementación de arquitectura de sistemas con las principales aplicaciones que soporten los procesos de negocio de una empresa de distribución de electricidad en el presente estudio permitirá implementar sistemas escalables y flexibles que garanticen el intercambio de información segura y confiable entre las aplicaciones para que se estas se adapten a los requerimientos futuros sin impactar las operaciones de negocio e incrementando la satisfacción del cliente, que podrá validar y confiar en los registros de consumos que le factura la empresa.

Objetivo Especifico 3 – Describir una posible ruta de adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad.

De acuerdo con el objetivo de la investigación, el *roadmap* para la adopción de la tecnología *blockchain* en el proceso de facturación por el consumo de electricidad de una empresa de distribución de energía eléctrica tiene un horizonte de implementación que puede oscilar entre 5 y 10 años, de acuerdo a lo indicado por los entrevistados, siendo el proceso de facturación un proceso principal de la empresa. La implementación de *blockchain* requiere un plan de desarrollo estratégico; del mismo modo, los entrevistados indican que esta implementación impactará positivamente tanto en el consumidor como en el distribuidor porque permitiría mejorar la atención al cliente e incrementar los niveles de seguridad,

eficiencia y confianza en la facturación. Nuestra propuesta de roadmap está compuesta por 04 dimensiones (Procesos de negocio, normativa y reglamentación legal del sector, Sistemas, Infraestructura y Personas) que, a su vez, comprende 34 actividades que permitirán implementar la tecnología *blockchain*. Esta propuesta cubre las necesidades y los hallazgos actuales de implementación, pero en el camino pueden variar de acuerdo a como se vayan presentando los escenarios y los factores internos y externos de procesos y negocio de la empresa. Asimismo, esta investigación coincide con lo realizado por Alvarenga et al. (2018) quien desarrolló un roadmap para el sector energético de Brasil, en cuanto a la importancia de desarrollar roadmaps como estrategia empresarial para la implementación en este caso de tecnologías en el sector energético y, con esto, poder tener claro el horizonte de las actividades en el corto, el mediano y el largo plazos, identificar los recursos necesarios, alinear los procesos y prepararlos para los cambios regulatorios y tecnológicos como también para alcanzar los resultados estratégicos de la empresa y aprovechar las oportunidades del mercado.

Capítulo VII: Conclusiones

- Las empresas de distribución de energía eléctrica no se encuentran preparadas o están en una etapa inicial en temas de modernización tecnológica y capacidad de los recursos humanos; la legislación vigente está desfasada y no va acorde con los avances de la tecnología.
- Según la apreciación de los expertos consultados, *Blockchain* se presenta como una tecnología habilitadora para la modernización y la protección de datos que la transición energética promoverá con los cambios en los modelos de producción y negocio del sector eléctrico.
- Las actividades más críticas en el proceso de facturación del consumo de energía eléctrica son la lectura de medidores y su carga en los sistemas de la empresa de distribución, los cuales necesitan ser revisados continuamente y se deben generar cambios que velen por su seguridad, trazabilidad y confiabilidad.
- Encontrándose el sector de energía eléctrica en una etapa inicial de modernización tecnológica, es importante proponer una ruta que permita la incorporación de *blockchain* en las actividades críticas de proceso de facturación de energía eléctrica.
- La arquitectura para la implementación de *blockchain* propone un modelo base de aplicaciones y plataformas con las que debe contar una empresa de distribución de electricidad para poder incorporar la tecnología *blockchain* a sus procesos, especialmente, como en nuestro caso de estudio, al proceso de facturación.
- La propuesta de hoja de ruta plantea 4 dimensiones y 34 actividades a seguir respecto a los procesos de negocio, los sistemas informáticos, la infraestructura tecnológica y la capacidad de recursos humanos permitiendo, de esta manera, mostrar un camino estructurado para identificar, evaluar y seleccionar la alternativa tecnológica desde una perspectiva del corto, el mediano y el largo plazos que puedan hacer viable la

adopción de la tecnología blockchain en el proceso de facturación de una empresa de distribución de electricidad.



Referencias Bibliográficas

- Andina (23 de octubre de 2021) Sociedad Eléctrica de Arequipa garantiza su sostenibilidad con la innovación digital. Andina Agencia Peruana de Noticias.
<https://www.andina.pe/agencia/noticia-sociedad-electrica-arequipa-garantiza-su-sostenibilidad-con-innovacion-digital-763220.aspx>
- Alvarenga, M.; Vítor, P.; Silva, B. & Gouvêa, M. (2018). Planejamento Estratégico Setorial 2030 - Roadmap Energia. *XI Workshop do Instituto de Gestão de Desenvolvimento de Produto*. Pp. 70 – 75.
- Albrecht, S.; Reichert, S.; Schmid, J.; Strüker, J.; Neumann, D. & Fridgen, G. (2018). Dynamics of Blockchain Implementation - A Case Study from the Energy Sector. *51st Hawaii International Conference on System Sciences*.
<http://hdl.handle.net/10125/50334>
- Arruñada, B. (2018). Limitaciones de blockchain en contratos y propiedad. *Revista Crítica de Derecho Inmobiliario*, 94 (769) pp. 2465-93.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6766875>
- Bagozzi, R. (1990). Buyer Behavior Models for Technological Products and Services. *Advances in Telecommunications Management Greenwich*, 2, pp.43-69.
- Barafani, M., García P. & Rozemberg, R. (2020). Blockchain y comercio internacional: Nuevas tecnologías para una mayor y mejor inserción internacional de América Latina. *Revista Integración & Comercio*, 24 (46), pp. 4-5.
<http://dx.doi.org/10.18235/0002799>
- Bartolomé, A. & Lindín, C. (2018). Posibilidades del Blockchain en Educación. *Education in The Knowledge Society (EKS)*, 19, (4), pp.81-93.
<https://doi.org/10.14201/eks20181948193>

- Bartolomé, A. & Moral-Ferrer, J. (2018). Blockchain en Educación. Cadenas rompiendo moldes. *Colección Transmedia XXI*. <https://goo.gl/8WtCoc>
- Bray, O. y García, M. (1997). Technology Roadmapping: The Integration of strategic and technology planning for competitiveness. *Innovation in Technology Management. The Key to Global Leadership. PICMET '97, 1997*, pp. 25-28.
<https://doi.org/10.1109/PICMET.1997.653238>
- Brilliantova, V. & Wolfgang, T. (2018) Blockchain and the future of energy. *Technology in Society*, 57, 38-45. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.11.001>
- Camargo, C., Sáenz J., Rosas, N. (2014). Implementación de un sistema de seguridad en medidores inteligentes (Smart Grids), *Ingenium*, 15, (30), pp. 28-38.
<https://doi.org/10.21500/01247492.1356>
- Casellas, F., Velasco, G., Guinjoan, F. & Piqué, R.(2010). El concepto de Smart Metering en el nuevo escenario de distribución eléctrica.
https://www.researchgate.net/publication/46400503_El_concepto_de_Smart_Metering_en_el_nuevo_escenario_de_distribucion_elctrica.
- Castaño, M. (2020). *Impacto del esquema del mercado P2P en el mercado eléctrico colombiano* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Universidad Nacional de Colombia
<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78430/1053813451.2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- CNE (26 de febrero del 2018). Comisión Nacional de Energía se convertirá en la primera entidad pública en utilizar *Blockchain* en Chile. CNE
- Copel (20 de diciembre 2021). Mercado Livre. <https://copelmercadolivre.com/>

- Corusa, A.; Predel, J. & Schöne, N. (2020) Eine Marktübersicht der *Blockchain* in der Energiewirtschaft. Technische Universität Berlin, Institut für Energietechnik, Fachgebiet für Energiesysteme. <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce10542>
- Davis, F., Bagozzi, R., & Warshaw, P. (1989). Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35(8), 982-1003. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982>
- Del Rivero, M. (2017). Smart Cities, una visión para el ciudadano.
- Diestelmeier, L. (2018). Changing power: Shifting the role of electricity consumers with *blockchain* technology – Policy implications for EU electricity law. *Energy Policy*, 128(2019), 189-186. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.065>
- Dolader, C., Bel, J. & Muñoz J. (2017). La Blockchain: fundamentos, aplicaciones y relación con otras tecnologías disruptivas. *Economía industrial*. 405, pp. 33-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6207510>
- El Peruano (02 de noviembre de 2021). Resolución Ministerial N° 392-2021-MINEM/DM. Disponen la publicación, en el portal institucional, del proyecto de Decreto Supremo que aprueba disposiciones modificatorias relacionadas a la implementación de los Sistemas de Medición Inteligente (SMI), así como de su Exposición de Motivos. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/disponen-la-publicacion-en-el-portal-institucional-del-pro-resolucion-ministerial-no-392-2021-minemdm-2006886-1>
- Endesa (21 octubre, 2021). Smart Metering. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-meter>
- Enel (2021). *Hoja de ruta de Transición Energética en Perú Un modelo energético sostenible para Perú al 2050*. <https://www.enel.pe/content/dam/enel-pe/sostenibilidad/hoja-de-ruta-de-transicion->

energetica/sesiones/Estudio%20Hoja%20de%20Ruta%20de%20Transici%C3%B3n
%20Energ%C3%A9tica%20en%20Per%C3%BA.pdf

Enel (27 de octubre de 2021). *Medidores inteligentes*.

<https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/medidores-inteligentes-de-energia-nueva-tecnologia-mayor-control.html>

Exergy (2017). *Electric Power Technical Whitepaper: Building a Robust Value Mechanism to Facilitate Transactive Energy*.

<http://www.truevaluemetrics.org/DBpdfs/Initiatives/Exergy/Exergy-2018-Technical-Whitepaper-v8.pdf>

Farias, J. Botelho, S. y Fontinele E. (2001). Implementación de Roadmap Tecnológico: Um estudio preliminar. *RECADM 11*, (2), pp. 168-177.

<http://dx.doi.org/10.5329/RECADM.20121102001>

Falvo, M., M. Manganelli, M., Bufano, V., D'Adamo, C., D'Orazio, L & D'Orinzi, C. (2015). Smart distribution grids: New solutions for system operation in emergency conditions. *IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, 2015, pp. 754-759,

<https://doi.org/10.1109/EEEIC.2015.7165259>

Fernández, R. (2021) Reclamos y satisfacción del sector empresarial respecto al servicio eléctrico en la zona sur del Perú. *Iberoamerican Business Journal 5* (1).

<https://doi.org/10.22451/5817.ibj2021.vol5.1>

Fishbein, M., & Ajzen, I. (1975). *Belief, attitude, intention and behaviour: An introduction to theory and research*. Addison-Wesley.

Fishbein, M., & Ajzen, I. (1980). *Theory of Reasoned Action*.

Gartner (2018). Blockchain Technology Spectrum: A Gartner Theme Insight Report.

www.gartner.com/en/doc/3891399-blockchaintechnology-spectrum-a-gartner-trend-insight-report.

Gross, M. & Magar V. (2007). Offshore wind energy potential estimation using UPSCALE climate data. *Energy Science and Engineering*;3(4), pp. 342-359. doi: 10.1002/ese3.76

Guerrero, M. (2016) La investigación cualitativa. *INNOVA Research Journal*, 1(2), pp. 1-9. <https://doi.org/10.33890/innova.v1.n2.2016.7>

Hernández-Nieto, R. (2002). *Contributions to Statistical Analysis*. Universidad de Los Andes.

Hernández-Sampieri, R.; Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación. Sexta Edición*. Mcgraw-HILL / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

IRENA (2019), *Panorama de la innovación para un futuro impulsado por las energías renovables: soluciones para integrar las energías renovables variables. Resumen para responsables políticos*. Agencia Internacional de Energías Renovables. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Feb/IRENA_Innovation_Landscape_summary_ES.pdf?la=en&hash=8820F8D72B92132153459A58381901D71BD3688

E

Jakeman, A., Achteplik, C. & Makwana, V. (2020) *Asset Study on Digital Technologies and Use Cases in the Energy Sector*. Comisión Europea. doi: 10.2833/006724 MJ-01-20-762

Jobert, A., Laborgne, P. & Mimler, S. (2007) Local acceptance of wind energy: Factors of success identified in French and German case studies. *Energy Policy*, 35, (5), pp. 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.005>

- Labazova, O. (2019). Towards a Framework for Evaluation of Blockchain Implementations. *Association for Information Systems AIS Electronic Library (AISeL)*. <https://core.ac.uk/download/pdf/301384314.pdf>
- Loor G., Cuenca L., Castro M., Vilaragout M. (2017) Roadmap for the Introduction of Smart Grids in Ecuador. *International Journal of Physical Sciences and Engineering* Vol. 1 No. 2. <http://dx.doi.org/10.21744/ijpse.v1i2.28>
- López-Bonilla, L. y López- Bonilla J. (2010). Rutas De Acción para el Uso de Blockchain en las Actividades de Distribución y Comercialización de Energía Eléctrica en Colombia
- Lopes, E., Rosa, C., Rediske, G., Rigo, P, Michels, L. & Siluk, J. (2019). Desenvolvimento de um roadmap técnico-comercial da energia solar fotovoltaica centralizada no Brasil. *Seminar on Power Eletronics and Control*. <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/737/2019/10/19-7.-SEPOC-Carmen.pdf>
- Luke, M. Lee, S., Pekarek, Z., Dimitrova, A. (2018). *Blockchain in Electricity: a Critical Review of Progress to Date*. Eurelectric. https://cdn.eurelectric.org/media/3115/paper1_blockchain_eurelectric-h-BA73FBD9.pdf
- Manoj, S. (2021) Developing a Systematic Blockchain System for Security and Privacy Management in Iot. *Nat. Volatiles & Essent*, 8, (5), pp. 7851-7867
- Mendoza, M. (27 de julio de 2017) Bitinka la empresa peruana que crece sobre tecnología blockchain. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/economia/peru-empresa-tecnologia-blockchain-noticia-445372-noticia/>
- Mojica, P., Cuéllar, S., Medina, C. (2016). Medición y gestión inteligente de consumo eléctrico. *Centro de Información Tecnológica y Apoyo a la Gestión de la Propiedad*

Industrial (CIGEPI), 6.

https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/pdf/medicion_energia.pdf

Moore, G.; Benbasat, I. (1991) Development of an Instrument to Measure the Perceptions of Adopting an Information Technology Innovation. *Information Systems Research*, 2 (3), pp.192-222. <https://doi.org/10.1287/isre.2.3.192>

Moore, G.; Benbasat, I. (1996) Integrating Diffusion of Innovations and Theory of Reasoned Action Models to Predict Utilization of Information Technology by End-Users. *Diffusion and Adoption of Information Systems London: Chapman & Hall*, pp. 132-146. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-0-387-34982-4_10.pdf

Osinermin (29 de diciembre de 2020). Osinermin aceleró su transformación digital durante la emergencia sanitaria.

<https://www.gob.pe/qu/institucion/osinermin/noticias/322543-osinermin-acelero-su-transformacion-digital-durante-la-emergencia-sanitaria>

Osinermin (2016). *La industria de la electricidad en el Perú.*

https://www.osinermin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinermin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf

Osinermin (25 julio de 2021). *Tikuy Riky. Sistema de atención a requerimientos.*

<https://atenciontukuy.osinermin.gob.pe/sargop/pages/public/loginMejorado>

Parrondo, L (2018). Tecnología Blockchain una nueva era para la empresa. *Revista de Contabilidad y Dirección*, 27 (2018), pp. 11-31.

Peralta, C. & Cardenas, J. (2020) *Informe de Vigilancia Tecnológica: Blockchain.* Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC).

<http://hdl.handle.net/20.500.12390/2270>

- Pedersen, A.; Risius, M. & Beck, R. (2019). A Ten-Step Decision Path to Determine When to Use Blockchain Technologies. *The European Blockchain Center*.
<http://dx.doi.org/10.17705/2msqe.00010>
- Pérez, E., Fernández, F., Darnes, F. & Vilariño, D. (2021). Suitability assessment for electricity generation through renewable sources: Towards sustainable energy production. *CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro*, 11, (1), pp. 109 – 122.
<https://doi.org/10.29047/01225383.260>
- Perú Compras (2 de setiembre de 2020). PERÚ COMPRAS registró en blockchain más de 154 mil órdenes de compra. Gob.pe.
<https://www.gob.pe/institucion/perucompras/noticias/297606-peru-compras-registro-en-blockchain-mas-de-154-mil-ordenes-de-compra>
- Phaal, R.; Farrukh, C. y Probert, D. (2004). *Technology roadmapping – A planning framework for evolution and revolution*. <https://tarjomefa.com/wp-content/uploads/2017/07/7115-English-TarjomeFa.pdf>
- PNUD (28 de octubre del 2021) *Objetivos de Desarrollo sostenible*.
<https://www.pe.undp.org/content/peru/es/home/sustainable-development-goals.html>
- Preukschat, A., Kuchkovsky, C., Gómez, G., Díez, D y Molero, I. (2017). *Blockchain: la revolución industrial de internet*. Grupo Planeta.
- Quirós-Tortos, J., Godinez-Zamora, G., De La Torre, D., Heros, C., Lazo, J., Ruiz, E. Quispe, B., Diez Canseco, D., Garro, F., Mora, J., Eguren, L., Sandoval, M., Campos, Salmeri, M., Baron, R., Fernandez-Baca, J., Iju, A., Ferro, P., Saavedra, V. & Vogt-Schilb, A. (2020). *Costos y beneficios de la carbono-neutralidad en el Perú: una evaluación robusta*. Banco Interamericano de Desarrollo.
<http://dx.doi.org/10.18235/0003286>

- Rennie, G. Hartnett, B., Reyes, V., Siegert, D. y Sandoval, D. (2020) *Análisis de brechas y oportunidades de innovación en el sector energético en América Latina y el Caribe* (Monografía; 895). Banco Interamericano de Desarrollo.
<http://dx.doi.org/10.18235/0002687>
- Saravia, E., Ruiz, M. & Calmet, R. (2013) Diseño de un sistema móvil para la lectura de medidores mediante tecnología Bluetooth. *Industrial Data*, 16(1),134-143.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81629469016>
- Seal (2019). Memoria Anual.
<https://www.seal.com.pe/Documentos/ACCIONISTAS/MEMORIA%20ANUAL%202019%20v7.pdf>
- Schwab (2016). *La cuarta revolución industrial*. Penguin Random House grupo Editorial.
- SmartCitiesWorld news team (20 de noviembre de 2017). Will blockchain fuel Fremantle's energy supply. <https://www.smartcitiesworld.net/news/will-blockchain-fuel-fremantles-energy-supply-2319>
- Tapscott, D. & Tapscott, A. (2017). *La revolución de Blockchain: Descubre cómo esta nueva tecnología transformará la economía global*. Ediciones Deusto.
- Van Leeuwen, G., AlSkaif, T., Gibescu, M. & Van Sark, W. (2020) An integrated blockchain-based energy management platform with bilateral trading for microgrid communities. *Energy Policy*, 263 (2020) 114613.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114613>
- Venkatesh, V., & Davis, F. (2000). A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies. *Management Science*, 46(2), 186-204.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926>

Wang, T., Hua, H., Wei, Z. & Cao, J. (2019). Challenges of blockchain in new generation energy systems and future outlooks. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 135 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107499>

WEF, (2019), “Inclusive Deployment of Blockchain for Supply Chains - Part 1”, World Economic Forum, Switzerland, March.

Yahari, B. (2017). Blockchain y sus aplicaciones. *Universidad Católica de Nuestra Señora de la Asunción*. <http://jeuazarru.com/wpcontent/uploads/2017/11/Blockchain.pdf>.



Anexos:

Anexo 01: Instrumento para la recolección de la información

N°	Ítems
	Preguntas iniciales
1	¿Qué sector de la industria de energía conoce o se desenvuelve? y ¿Cuál es el cargo que tiene?
2	En un rango del 1 al 5, donde 1 es muy bajo y 5 es muy alto ¿Cuál es su grado de conocimiento del sector de distribución de energía eléctrica?
3	En un rango del 1 al 5, donde 1 es muy bajo y 5 es muy alto ¿Cuál es su grado de conocimiento de la tecnología blockchain?
	Objetivo Especifico 1: Determinar el estado actual de la preparación (<i>readiness</i>) de la empresa de distribución de electricidad para la adopción tecnológica del blockchain en el proceso de facturación
4	¿Podría describir el proceso y las principales actividades que involucra la facturación de la energía eléctrica?
5	Del 1 al 5, donde el 5 representa un nivel más avanzado de madurez tecnológica del sector, en su opinión ¿Cuál cree que sería este nivel de madurez? y ¿Por qué?
6	¿Qué tecnologías emergentes considera que se pueden implementar en el sector de distribución de energía?
7	Según su experiencia ¿Considera que podría implementarse blockchain en el proceso de facturación de energía eléctrica?
8	Si su respuesta fue No , puede mencionar los motivos por los que considera que blockchain no se podría implementar
9	Si su respuesta fue Sí , ¿Qué razones a favor lo convencer de la implementación de blockchain en este tipo de procesos?
10	En su opinión, en un posible escenario de implementación de blockchain ¿Qué condiciones o requerimientos considera vitales para esta implementación en el proceso de facturación de energía eléctrica?
11	De las características de Blockchain ¿Cuál considera que es la más relevante en el proceso de facturación de energía eléctrica?
12	Al implementarse blockchain ¿Cuáles considera que son los factores principales en la adopción de esta tecnología en el proceso de facturación de energía eléctrica? ¿Qué variables contribuyen más a la explicación de estos factores?
13	¿Cuáles considera que serían los principales actores que deben intervenir para la implementación de la tecnología blockchain en el sector de comercialización de energía?
14	En su opinión ¿Qué tan preparados están los agentes tradicionales del sector eléctrico para el cambio de roles que supone la incorporación de nuevas tecnologías cómo blockchain? Posible repregunta ¿Por qué?
15	¿Considera Ud., que la regulación vigente permite la adopción de la tecnología blockchain en el proceso de facturación de las empresas de distribución?
16	De acuerdo a su análisis del sector ¿En qué horizonte temporal considera que se podría implementar blockchain en el sector de distribución en el Perú?
17	Finalmente, para cerrar esta entrevista ¿Cómo cree que impactaría la implementación de la tecnología blockchain en el sector energía?
18	¿Podría describirnos el proceso de facturación, las principales actividades y personas están involucrados?
19	¿Qué actividades de las mencionadas, se caracterizan por la gestión de datos e información crítica y vulnerable?
20	¿Cuáles considera que son las principales oportunidades de mejora con la seguridad de los datos de los clientes en el proceso de facturación?
21	Es conocido el proceso de reclamos de los consumidores por la validez de la información en las facturas que reciben, en su opinión, ¿a qué se debe?
22	¿Cuáles son las acciones que realizan en la actualidad para la protección de los datos de lectura de medición de los clientes?

Anexo 02:**Carta de presentación**

Lima [día] de [mes] de 2022

Estimado(a): _____

Presente. –

Distinguido Profesional,

Previo cordial saludo, nos es muy grato comunicarnos con usted para hacer de su conocimiento que, como estudiantes de la **Maestría en Gerencia de Tecnologías de la Información en CENTRUM** de la Pontificia Universidad Católica del Perú, requerimos validar nuestros instrumentos de investigación con los cuales recogeremos la información necesaria para optar el grado de magíster.

El título de nuestra investigación es: **ROADMAP DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN EL PROCESO DE FACTURACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA**, y siendo imprescindible contar con la aprobación de especialistas para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia profesional en temas de investigación.

Motivo por el que le compartimos los siguientes documentos:

1. Carta de Presentación
2. Documento de validez del contenido del instrumento de investigación

Manifestándole nuestro respeto y consideración, nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención a la presente.

Muy Atentamente,

Equipo de investigación

Luis Alberto Barrantes Martínez

Edwin Capcha Guzmán

Jose Huamán La Rosa

Miguel Angel Tupac Yupanqui Bustamante

Fecha: [día] de [mes] de 2022

Firma:

Pertinencia:** El ítem apropiado o congruente con el objetivo de investigación * Relevancia:** El ítem es significativo para lograr el objetivo *****Claridad:** Se comprende la pregunta por si sola.



Anexo 03

ENTREVISTA: ROADMAP DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN EN EL PROCESO DE FACTURACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Mediante la presente se le solicita una autorización para su participación en una entrevista acerca de la propuesta de un Roadmap de la Implementación de la Tecnología Blockchain en el Proceso de Facturación del Consumo de Energía Eléctrica. Sus datos servirán para el trabajo de investigación que será desarrollada en una tesis cuyo fin es la obtención de grado de magíster en Tecnologías de Información en CENTRUM de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

La realización de la investigación está a cargo de los estudiantes Luis Barrantes (barrantes.l@pucc.edu.pe), Edwin Capcha (edwin.capcha@pucc.edu.pe), José Huamán (jhuaman@pucc.edu.pe) y Miguel A. Túpac Yupanqui (miguel.tupac@pucc.edu.pe) y cuenta con la asesoría y supervisión de la Doctora Ludmila Volodina Egorovna.

Si acepta participar en la investigación, le agradeceremos marcar en el recuadro "He sido informado del propósito de la investigación y mi rol en la misma" y responder las preguntas de investigación con una duración aproximada de 20 minutos a través de un formulario virtual. La información proporcionada por los participantes será utilizada única y exclusivamente para fines de investigación y los datos personales que registren serán tratados confidencialmente. Al concluir la investigación, los resultados de la misma podrán estar a disposición del público en la biblioteca de la universidad, así como en el repositorio virtual.

Muchas gracias por su apoyo y participación.

[Iniciar sesión en Google](#) para guardar lo que llevas hecho. [Más información](#)

***Obligatorio**

Correo *

Tu dirección de correo electrónico

*

Debe marcar el recuadro de consentimiento para continuar con la encuesta.

He sido informado de los términos y doy mi consentimiento

[Siguiente](#)

Página 1 de 2

[Borrar formulario](#)