

Recibido 13 Septiembre 2019. Aceptado 26 Noviembre 2019. Publicado 20 Diciembre 2019.

ISSN 2448-7775

Propuesta de Mercado Eléctrico Minorista Transactivo en México

JUAN CARLOS OLIVARES ROJAS*, ENRIQUE REYES ARCHUNDIA, SERGIO ADRIÁN CARRILLO VILLANUEVA, JOSÉ ANTONIO GUTIÉRREZ GNECCHI.

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Morelia
 jcolivares@itmorelia.edu.mx (* Autor de correspondencia)
 ereyes@itmorelia.edu.mx
 agnecchi@itmorelia.edu.mx
 sergio_csua@hotmail.com

RESUMEN El abaratamiento de las energías renovables aunado al amplio uso de tecnologías de información y comunicaciones en la red eléctrica, entre otros factores han hecho que los mercados eléctricos principalmente en el sector minorista entre los usuarios finales estén cambiando de forma muy dinámica. En este trabajo se presenta un estudio de las diversas alternativas de mercados eléctricos minoristas transactivos y se propone un modelo mercado eléctrico simple con estas características adaptado para el entorno de los usuarios finales mexicanos.

PALABRAS CLAVE— Mercado Eléctrico Transactivo, Cadena de Bloques, Medidores Inteligentes.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo y calidad de vida de los países depende de gran manera de la energía eléctrica. Con la llegada de la cuarta revolución industrial muchos sectores han sido beneficiados, particularmente el sector eléctrico ha sido revolucionado con tecnologías como: Internet de las cosas, cadena de bloques, cómputo en la nube, datos masivos (Big Data), aprendizaje máquina, entre otras. Además, el desarrollo de nuevas tecnologías y productos para la red eléctrica como: sistemas de generación distribuida a través de energías renovables como paneles fotovoltaicos y sistemas aerogeneradores, sistemas de almacenamiento de energía, vehículos eléctricos, descarbonización y uso de energías limpias, sistemas de transmisión y distribución en corriente continua, microrredes, entre otras; han revitalizado el sector eléctrico. Todos estos nuevos desarrollos han llevado consigo a nuevas aplicaciones y sobre todo adaptaciones de los diversos componentes entorno a la red eléctrica por lo que los mercados eléctricos no son la excepción (ver Fig. 1).

Alrededor del mundo se han desarrollado diversos y complejos modelos de mercados eléctricos [1], teniendo como común denominador la promoción de la competencia en el sector eléctrico en beneficio de todas las partes involucradas [2]

- [7]. Recientemente se han hecho estudios de la integración de nuevas tecnologías como la cadena de bloques en los mercados de energía [8] y [9].

Se pueden separar a los mercados eléctricos en dos grandes grupos, aquellos que tienen una estructura centralizada y los descentralizados en la toma de decisiones [10]. Todo modelo de mercado suele tener limitaciones o deficiencias en el modelo finalmente adoptado y por lo tanto es susceptible a mejoras [11].

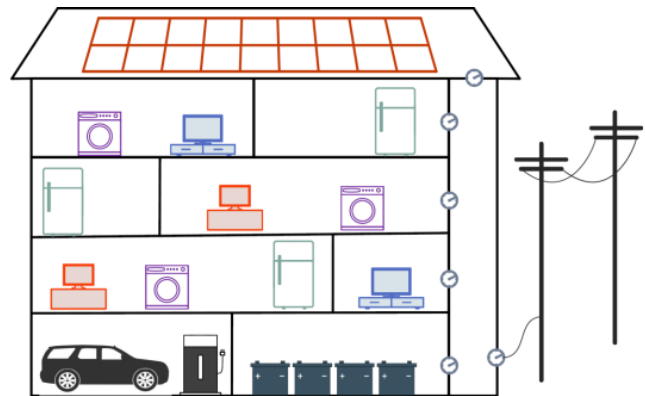


Fig 1. Panorama de Tecnologías en la Red Eléctrica Inteligente (REI) para los próximos años en México y el mundo.

En lugares donde no se cuenta con un modelo de operación de mercado eléctrico, al quererlo adoptar, se vuelve necesaria la creación de nuevas instituciones, leyes y reformas para la regulación del mercado, que consumen significativamente tiempo y recursos, se tiene en [12] el ejemplo en el caso de México. Y en algunos lugares donde ya se tiene un mercado establecido, las regulaciones de operación (cuando existen) permiten que las compañías participantes se aprovechen de ciertos aspectos, abusando de su papel como participante del mercado [13], a pesar de las reglas y herramientas desarrolladas para el monitoreo en el trading (comercio) en los mercados eléctricos [14] no ha sido suficiente como para lograr la operación de un mercado eléctrico transparente.

Este artículo presenta un nuevo modelo de mercado eléctrico, el cual es genérico, lo que quiere decir que, puede promoverse en cualquier sitio, además permite la interacción con otros sectores que manejen el mismo modelo de operación, lo que hace posible la proyección a una escala global adaptada a las condiciones del mercado minorista en México. Todo ello gracias a la aplicación de la tecnología de la cadena de bloques al modelo de los mercados eléctricos, asegurando un monitoreo confiable en tiempo real. Debido a la tecnología empleada, el nuevo modelo de mercado eléctrico propuesto eleva de manera significativa la utilidad y eficiencia que se esperan de los mercados eléctricos. Pues se garantiza la sana competencia en los mercados, un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) confiable, anulación de cualquier práctica corrupta, la posibilidad de inversión externa y lo más importante garantiza la satisfacción del usuario final. La explicación del funcionamiento básico de los recursos tecnológicos a utilizar y como se pueden adoptar en el mercado eléctrico son descritos para validar la solución propuesta.

II. MERCADOS ELÉCTRICOS TRANSACTIVOS

En varias partes del mundo, pero tal vez principalmente en los Estados Unidos de América, hay un marcado interés por la innovación y modernización de modelos de mercados de energía eléctrica al menudeo, en el contexto de las redes eléctricas inteligentes de distribución, con el objetivo de transitar hacia un escenario de mayor participación de los recursos de energía distribuidos y un mayor número de consumidores-productores participando en la administración del servicio eléctrico [15].

En el extremo, está la visión de un sistema eléctrico en el que los sistemas de administración de energía y los equipos eléctricos de millones de consumidores interactúan en mercados minoristas, a través de Internet, en coexistencia con los mercados mayoristas, determinando colectivamente los precios de la energía, en equilibrio de oferta y demanda, y

optimizando el aprovechamiento de los recursos. A este concepto se le denomina Energía Transactiva [16]. Aunque no existe una definición única de Sistemas Transactivos de Energía, la mayoría de los autores coinciden en que ésta consiste en la optimización de la asignación de recursos energéticos con el correcto equilibrio de demanda-producción, atrayendo dispositivos de energía inteligentes y prosumidores (consumidores y productores de energía), usando incentivos del mercado e intercambio de información de la red eléctrica y señales económicas, para control y decisiones desde generación hasta distribución y consumo de poder.

Entre las nuevas estructuras de mercado al menudeo está la denominada “tarifa de suscripción en dos vías” (TeMIX) [17], que se opera en una plataforma automatizada de transacciones bilaterales. Este modelo, combina la suscripción de energía a un precio predeterminado para el perfil de consumo del cliente (caracterizado en términos horarios, diarios, y mensuales), y transacciones en tiempo real para liquidar las desviaciones sobre el perfil de consumo contratado al Precio Marginal Local de tiempo real. En principio, este esquema permite que el cliente tome sus propias decisiones de inversión en recursos distribuidos de energía (generación, almacenamiento, y de administración de la demanda), para gestionar los riesgos de precio y para maximizar su beneficio económico. Desde la perspectiva del Suministrador, éste configura su oferta de suscripción con base en su portafolio de contratos de energía y potencia de los mercados de largo y mediano plazo, limitando su exposición en los mercados de corto plazo. En California se prueba este concepto en un proyecto piloto que está dirigido a clientes residenciales, y clientes de comercios pequeños y medianos [17]. Otras estructuras propuestas requieren de un Operador Independiente de Distribución, que administra un mercado minorista, basado en Precios Marginales Locales al nivel de las redes de distribución.

Recientemente la tecnología de cadena de bloques utilizada en primera instancia en flujo de transacciones monetarias como moneda digital cifrada (criptomoneda) como en el caso de Bitcoin [18] se ha empezado a utilizar en diversas aplicaciones donde la confianza entre las partes puede realizarse de forma segura, sin intermediarios y a través de métodos de cifrado de la información no repudiables. Particularmente, una de las principales aplicaciones son los contratos inteligentes [19].

Un contrato inteligente es un acuerdo entre dos partes sin intermediarios. Puede considerarse como un procedimiento almacenado invocado en una transacción. Las entradas, salidas y estados afectados por la ejecución inteligente del contrato son acordados por cada nodo.

De manera general, las cadenas de bloques pueden integrarse de una manera ágil y eficiente a los sistemas transactivos de energía ya que permiten descentralizar la operación de los mercados eléctricos proveyendo confianza entre las empresas de servicios públicos, los operadores, cuerpos regulatorios con los proveedores servicios de energía y los recursos de energía transactiva. Todo esto a través de un libro mayor de contabilidad distribuida inmutable.

En un nivel alto, un sistema de cadena de bloques puede clasificarse como público o privado. En el primero, cualquier nodo puede unirse y abandonar el sistema, por lo que el blockchain está completamente descentralizado, se asemeja a un sistema de igual a igual (peer-to-peer) [20]. En este último, el blockchain impone estricta membresía. Más específicamente, existe un mecanismo de control de acceso para determinar quién puede unirse al sistema. Como resultado, cada nodo se autentica y su identidad es conocida por los otros nodos.

En el modelo tradicional de la REI, tanto la electricidad como el flujo de los pagos y datos fluye entre las distintas entidades a través de un mecanismo totalmente centralizado dependiente de la empresa eléctrica; en cambio en un modelo con blockchain todas las entidades y participantes trabajan de forma descentralizada (ver Fig. 2).

Por ejemplo, las transacciones de energía se pueden hacer de forma directa entre pequeños productores y consumidores. Todas las transacciones son almacenadas en la cadena de bloque haciéndolas resistentes a pruebas de manipulación, por lo que se garantiza confianza entre las partes.

Dentro de la teoría de mercados eléctricos, el uso de cadena de bloques ayuda a eliminar el intermediarismo (compañías de energía, proveedores de electricidad y agregadores) haciendo que las transacciones de energía y datos se hagan de forma directa.

Los componentes de un sistema de energía basado en blockchain de acuerdo con [21] son: Medidores Inteligentes, Dispositivos inteligentes/electrodomésticos, Tecnologías de sensores, y Aplicaciones para teléfonos inteligentes.

Por otra parte, en [22] se muestran las principales estrategias innovadoras dentro de la REI proporcionada por la empresa Smart Grid Council. En dicha gráfica se puede observar que el 90% de las implementaciones de Blockchain están en el área de Clientes/Distribución. A su vez, se puede observar que el 90% de las propuestas de cadenas de bloques que existen en el sector eléctrico están sobre las áreas de Comercialización de Energía P2P y los Sistemas Transactivos de Energía (STE).

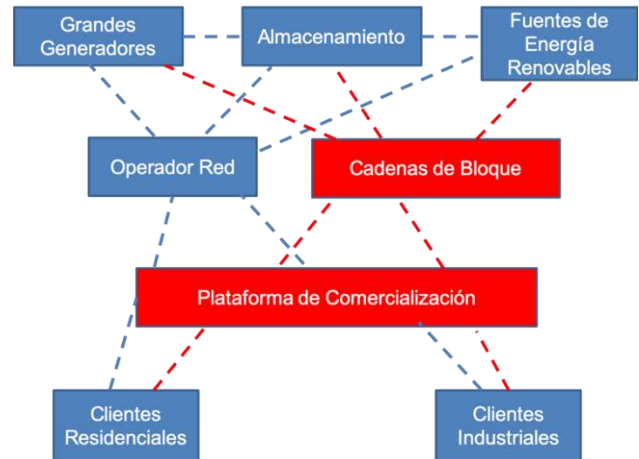


Fig 2. Modelo General de Operación de Mercados Eléctricos utilizando Cadenas de Bloques.

A su vez tanto en la academia como en la industria eléctrica se ha implementado y se está desarrollando diversos estudios y aplicaciones para integrar de mejor forma tecnologías como las cadenas de bloques con los STE.

En [23] se muestra una plataforma para la comercialización de energía segura y privada denominada Priwatt, la cual es de las primeras implementaciones de comercialización de energía utilizando cadena de bloques. Recientemente han aparecido otras implementaciones tanto a nivel comercial como científicos: PowerLedger [24], GridPlus [25], y LO3 [26], por mencionar solo algunas, aunque no son las únicas ya que las principales empresas del sector están lanzando o desarrollando programas con este tipo de características.

Además, existen diversos trabajos enfocados en generar criptomonedas y esquemas financieros para REI, como en [27] en donde se muestra NRGcoin. La cual es una criptomoneda que ayuda a la comercialización de energía limpia usando la infraestructura de la cadena de bloques.

Otra criptomoneda interesante es Helios Coin [28], en donde a través del uso de contratos inteligentes así como de sistemas de almacenamiento de energía y medidores inteligentes se puede comercializar energía entre productores y consumidores de forma descentralizada (ver Fig. 3).

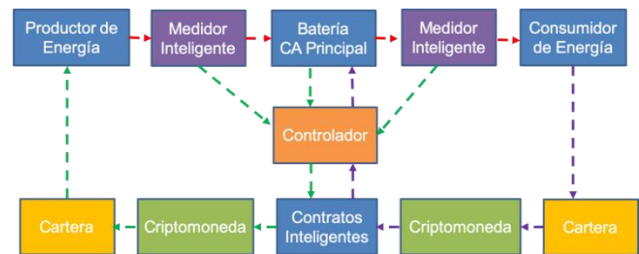


Fig 3. Arquitectura General de Operación de Mercados Eléctricos utilizando Criptomonedas.

Otros trabajos se han centrado en presentar nuevos modelos jerárquicos de sistemas de Blockchain. Por ejemplo, en [29] se presenta una propuesta de arquitectura de blockchain basada en la nube y en el nuevo concepto de cómputo en niebla (*fog computing*). En esta arquitectura las operaciones de la cadena de bloques se encuentran en la nube. La información fluye desde la capa de dispositivos hacia la nube a través de la capa de niebla. En la capa de niebla utilizando el paradigma de Redes Definidas por Software (SDN por sus siglas en inglés de Software Define Network) se forma una especie de cadena de bloques para problemas más concretos.

III. PROPUESTA

Como usuarios finales, además del consumo de energía eléctrica también podemos generar nuestra propia energía (derivado del abaratamiento de fuentes de generación renovables como eólica y solar), la cual se puede consumir o vender a su conveniencia. Este nuevo rol recibe el nombre de prosumidor (productor-consumidor). El problema radica en como los prosumidores y demás participantes del mercado eléctrico pueden realizar estas transacciones de forma rápida y segura.

Como se vio en la sección anterior, el incluir Tecnologías de Libros Mayores distribuidos como Blockchain, permite tener mayor control en la red eléctrica sobre estos usuarios (prosumidores), esto con la finalidad de suministrar la energía al punto más cercano de demanda, y así la transacción sea al costo más bajo posible.

El mercado eléctrico minorista transactivo para el usuario final propuesto está basado en general en las reglas del mercado eléctrico minorista en donde todos los actores se encuentran vinculados de forma descentralizada a una plataforma de energía transactiva basada en Blockchain. En esta plataforma a través de contratos inteligentes ligeros los participantes pueden establecer sus reglas de negocio del intercambio de flujos de energía eléctrica (ver Fig. 4)

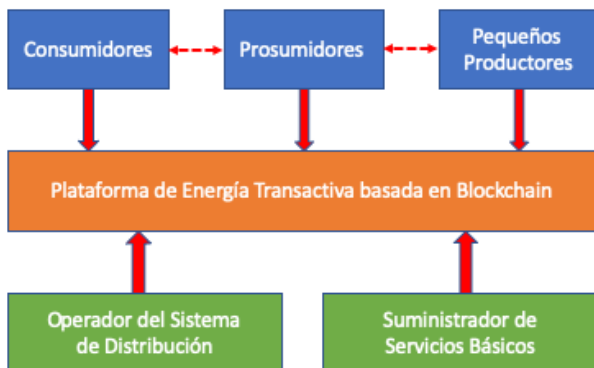


Fig 4. Modelo Propuesto de Mercados Eléctrico Minorista Transactivo.

La Plataforma de Energía Transactiva propuesta además de contener elementos de la tecnología de Blockchain, contiene dos elementos fundamentales: un sistema de almacenamiento de datos masivos con su respectivo módulo de analítica de datos en donde a través de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje máquina puede procesar los datos en conocimiento útil para la toma de decisiones. Por otra parte la plataforma propuesta tiene interfaces de comunicación hacia otros componentes del mercado eléctrico no tran presentes en el mercado minorista como los comercializadores y agregadores más comunes en el mercado eléctrico mayorista (ver Fig. 5).

Para tener un (Sistema Eléctrico de Potencia) SEP con estas características es necesario que el usuario del sistema tenga un medidor de consumo inteligente, con el cual él sea capaz de interactuar. Este medidor debe tener la capacidad de proporcionar información gráfica respecto al consumo y a la producción (si aplica) del usuario, con las nuevas tecnologías referentes a los “Hogares Inteligentes” será posible detallar el electrodoméstico y la potencia que consume, esto para arrojar consejos sobre cómo ahorrar más energía y proporcionarle al usuario información sobre las tendencias de consumo futuras. El contar con información como la anteriormente descrita, así como si es productor y tiene datos de predictivos de su generación, permitirá al usuario evaluar e interactuar más con el sistema de mercado propuesto.

En la Fig. 6 se ilustra la arquitectura de la plataforma de energía transactiva propuesta. En ella se puede ver que cada actor participante en el mercado eléctrico transactivo cuenta con un medidor inteligente que es bidireccional pudiendo medir consumo de distintas cargas (electrodomésticos, etc.) y producción de energía a través de energías renovables. Los medidores de cada actor se enlazan entre sí a través del concentrador de datos del suministrador o del operador del sistema de distribución formando una red de par a par (P2P) de nodos Blockchain.

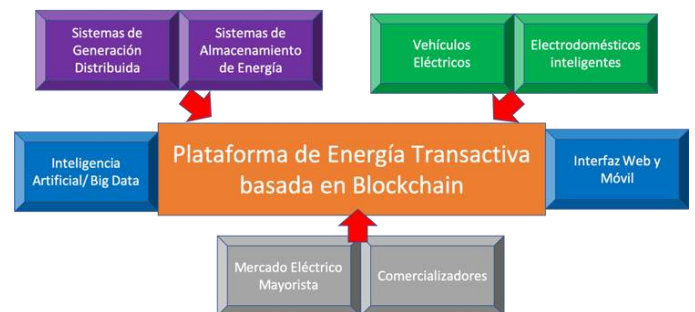


Fig 5. Interfaces de la plataforma de energía transactiva propuesta.

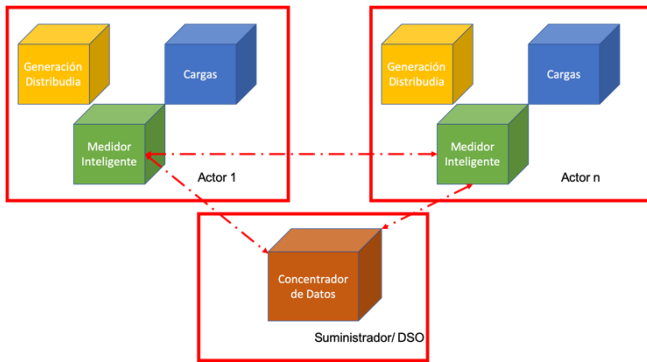


Fig 6. Interfaces de la plataforma de energía transactiva propuesta.

Como el sistema de mercado está basado en blockchain, al igual que todos los participantes, los usuarios finales contarán con una “cartera electrónica” la cual les permitirá hacer las transacciones en el mercado eléctrico, y podrán hacer depósitos así como retiros directamente a sus tarjetas bancarias. La operación de su cuenta personal en el sistema de mercado eléctrico es operada por internet, pudiendo interactuar en tiempo real en todo momento a través de cualquier dispositivo electrónico. Esta cartera electrónica se integra a la interfaz de los portales de los medidores inteligente de forma transparente.

IV. VALIDACIÓN

Para la validación de esta propuesta se implementó un Sistema de Medición Inteligente basado en AMI utilizando medidores inteligentes construidos con una placa Raspberry Pi y una tarjeta electrónica SmartPi [30] para sensar los valores de intensidad de corriente eléctrica, potencia activa y reactiva, voltaje, frecuencia, así como consumo y producción de energía. Las mediciones se realizan en tres fases.

Los medidores inteligentes se comunican entre sí utilizando una red mallada WiFi entre sí. Aunque también pueden comunicarse via PLT (Power Line Telecommunications) usando Ethernet y un modem PLT. Los medidores a su vez se pueden comunicar vía Bluetooth con electrodomésticos inteligentes.

El Concentrador de Datos está realizado con una placa Assus ThinkerBoard para la cual se diseño un programa en Python para concentrador los datos de los medidores conectados al concentrador.

La implementación del Blockchain está realizada en Python pensando en su alta portabilidad a diferentes arquitecturas de computadoras como los medidores inteligentes y concentradores de datos.

Para la implementación de los contratos inteligentes ligeros se implementó una pequeña interfaz que deriva en la especificación de una serie de acciones a realizar por el medidor. El contrato posee como datos relevantes la fecha en

que se firma el contrato, la vigencia y los parámetros del contrato, En la Fig. 7 se muestra un ejemplo de un contrato inteligente ligero validado por la plataforma propuesta.

Como puede observarse en la Fig. 7, el lenguaje del contrato inteligente es muy simple. Su sintaxis está basada en palabras claves en inglés las cuales son muy descriptivas y no son sensibles a mayúsculas y minúsculas. En la línea 1, se indica el nombre del contrato, en este caso ‘prueba’. En la línea 2, se especifica el rango de fechas para las cuales el contrato es válido. En la línea 3, se especifica si se va a consumir energía del suministrador del servicio eléctrico, en caso de estar en falso se indica que el sistema local es autosuficiente, pero puede configurarse como ‘programmed’ para indicar un horario de posible consumo. En la línea 4 se indica que el sistema puede inyectar energía al sistema de distribución en caso de que la producción de energía sobre pase el consumo. La línea 5 indica que el excedente de energía producida no consumida no se va almacenar. La línea 6 indica que no se participa en el programa de respuesta a la demanda. Las líneas 7, 8 y 9; indican que si el precio del kWh está menor a 3 entonces se puede activar un dispositivo como una lavadora. Finalmente, la línea 10 indica con que entidades se firma el contrato, en este caso con el suministrador del servicio eléctrico.

Una vez que las entidades participantes en el contrato inteligente están de acuerdo, cada parte con su clave públicas y privada firman y validan el contrato, el cual es pasado al Blockchain para que sea validado por los nodos participantes.

Una vez validado el contrato se devuelve una salida como la siguiente: *Timestamp 2019/07/11 18:23:47 to ‘prueba’ [0x23ABCD92B5]*, la cual indica que el contrato está validado y en espera de ser cumplido.

Para el cumplimiento de los contratos, cada medidor revisa los contratos en los que participa y cada que se notifica un evento (reporte de consumo cada 15 minutos, corte y reconexión del servicio, señal de precio dinámico, señal de respuesta a la demanda) le da seguimiento a los contratos.

1	Contract ‘prueba’
2	Valid from 2019/08/01 00:00:00 to 2019/09/31 23:59:59
3	Consumption true
4	Production true and sell
5	Store false
6	DemandRespose false
7	IF Price < 3 THEN
8	TURN ON DEVICE ‘Lavadora’
9	ENDIF
10	Parties: ISO

Fig 7. Ejemplo de contrato inteligente ligero.

Para verificar el correcto funcionamiento de los contratos inteligentes ligeros se ejecutaron diversos casos de prueba en donde se contemplaban diversos escenarios que el medidor inteligente debía de realizar en combinación con los diversos componentes del modelo. Por ejemplo, para el contrato de la Fig. 7, referente a la venta de energía, se desconectaban cargas de tal forma que existiera más producción. Para la prueba de encendido de la lavadora, el concentrador de datos envió una señal de precio bajo (2 pesos) y se conectó una lavadora convencional aun módulo de comunicación bluetooth con un actuador para el encendido/apagado del dispositivo. Este mismo esquema fue utilizado para probar la respuesta a la demanda, en donde el concentrador mandaba una señal y está apagaba de forma automática la lavadora en caso de estar encendida.

V. CONCLUSIONES

Esta investigación presenta un sistema funcional, con capacidad crecimiento a nivel mundial, con el mismo sistema de comunicación del blockchain adaptado a la generación de energía eléctrica, la cual tendrá un valor en moneda con la que funcionará el sistema, permitiendo monitorear la capacidad de potencia generada y carga demandada en tiempo real, precios más competitivos, eficiencia en el sistema y el acceso a la compra y venta de energía. El proceso de generación, transmisión y distribución no se ven afectados, en el caso de los últimos reciben remuneración por el uso de la infraestructura. Lo anterior supone un sistema eficiente, justo, equitativo y competitivo en el sector eléctrico minorista.

REFERENCIAS

- [1] S. Steven, "Power System Economics: Designing Markets for Electricity". IEEE-Wiley Press, pp. 496, ISBN: 978-0-471-15040-4, February 2002. doi: <https://doi.org/10.1109/9780470545584>
- [2] Parlamento Europeo y Consejo de la CE, "Richtlinie 96/92/EG des Europäischen Parlaments und Rates vom 19.02.1996 betreffend gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt" Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 40. Jahrgang, Nr. L27/20, 30. Enero 1997.
- [3] M. Einhorn, "From Regulation to Competition: New Frontiers in Electricity Markets", Kluwer Academic Publishers, ISBN: 0-7923-9456-9, 1994.
- [4] Bundestag der Bundesrepublik Deutschland: Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts", Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1998 Teil I, Nr. 23, Bonn, 28 de Abril de 1998.
- [5] Federal Energy Regulatory Commission, "Final Order 888: Promoting Wholesale Competition Through Open Access Non-Discriminatory Transmission Services by Public Utilities", United States of America, 24 de Abril de 1996.
- [6] Ministerio de Industria y Energía: "Nueva Ley del Sector Eléctrico", Madrid, España, 28 de Noviembre de 1997.
- [7] W. Hogan "Coordination for Competition in the Electricity Market – A Contract Network Approach", Harvard University, Public Policies Toward Competition in the Electric Power Industry, Wisconsin Public Utility Institute, Octubre 1994.
- [8] Claudio Lima, "Blockchain in Energy Smart Grid". BEC (Blockchain Engineering Council). Webminar del IEEE Smart Grid, 17 de Mayo de 2018.
- [9] M. Valentinu, "Blockchain Technology in the Energy Sector: A Systematic Review of Challenges & Opportunities", School of Engineering & Physical Sciences, Heriot-Watt University, Julio de 2019.
- [10] G. Rothwell, T. San Gomez San Roman, "Electricity Economics: Regulation and Deregulation", IEEE Press, 2003.
- [11] A. Marulanda, "Modelos para la Explotación Óptima de la Generación en Mercados Eléctricos Competitivos", Universidad de Sevilla: Tesis Doctoral, 2004.
- [12] R. Rionda, L. Guerrero, "Prospectiva del Sector Eléctrico 2015-2029", Secretaría de Energía, México 2015. Disponible en línea en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/44328/Prospectiva_de_1_Sector_Electrico.pdf
- [13] E. Lakić, T. Medved, J. Zupančič, "The review of market power detection tools in organised electricity markets", *IEEE 2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Dresden, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/EEM.2017.7982010
- [14] Agency for the Cooperation of Energy Regulators, "REMIT - Background," [En línea]. Disponible: <http://www.acer.europa.eu/en/remit/About/Pages/Background.aspx>.
- [15] NIST, "NIST Transactive Energy Modeling and Simulation Challenge for the Smart Grid", <https://www.nist.gov/engineering-laboratory/smart-grid/hot-topics/transactive-energy-modeling-and-simulation-challenge>.
- [16] NIST, Inicial Transactive energy models, NIST Transactive Energy Challenge: Business and Regulatory Models Working Group, September 2016
- [17] TeMix, Retail Automated Transactive Energy System (RATES) on the Southern California Edison distribution grid with the sponsorship of the California Energy Commission; <http://www.temix.net/>
- [18] S. Nakamoto, "Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system", 2008, <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [19] Ethereum, "Ethereum blockchain app platform," <https://www.ethereum.org/>
- [20] Melonport, "Blockchain software for asset management," <http://melonport.com>
- [21] PwC global power & utilities. "Blockchain – an opportunity for energy producers and consumer?," <https://www.pwc.com/gx/en/industries/assets/pwc-blockchain-opportunity-for-energy-producers-and-consumers.pdf>
- [22] Indigo Advisory (2018). Blockchain in Energy and Utilities. Disponible en: <https://www.indigoadvisorygroup.com/blockchain/>
- [23] Priwat. N. Z. Aitzhan and D. Svetinovic, "Security and Privacy in Decentralized Energy Trading Through Multi-Signatures, Blockchain and Anonymous Messaging Streams," in *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 15, no. 5, pp. 840-852, 1 Sept.-Oct. 2018. doi: 10.1109/TDSC.2016.2616861
- [24] PowerLedger. <https://powerledger.io/>
- [25] GridPlus. <https://gridplus.io/>
- [26] LO3. <https://lo3energy.com/>
- [27] Mihail Mihaylov, "NRG-X-Change: a Novel Mechanism for Trading of Renewable Energy in Smart Grids". Department Sensing & Control, Barcelona, Spain. NRGCoin.
- [28] Helios Coin, <https://heliosprotocol.io/>
- [29] P. K. Sharma, M. Chen and J. H. Park, "A Software Defined Fog Node Based Distributed Blockchain Cloud Architecture for IoT," in *IEEE Access*, vol. 6, pp. 115-124, 2018. doi: 10.1109/ACCESS.2017.2757955
- [30] nDenerserve, SmarPi 2.0, disponible en línea en: <https://www.enerserve.eu/en/smartpi.html>

BIOGRAFÍAS



JUAN CARLOS OLIVARES ROJAS es Ingeniero en Sistemas Computacionales por el Instituto Tecnológico de Morelia. Maestro en Ciencias en Ciencias de la Computación por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Es profesor del Departamento de Sistemas y Computación del Instituto Tecnológico de Morelia. Actualmente está estudiando el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el Instituto Tecnológico de Morelia. Sus áreas de interés son la ciber seguridad, las redes eléctricas inteligentes y los sistemas de cómputo distribuidos.



ENRIQUE REYES ARCHUNDIA es Doctor en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de Morelia. Es profesor/investigador de tiempo completo en el Posgrado en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Morelia. Sus áreas de interés son los sistemas de control para redes eléctricas inteligentes y el procesamiento de señales.



SERGIO ADRIAN CARRILLO VILLANUEVA es estudiante del 9º semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Morelia. Es Experto Universitario en Energías Renovables y Eficiencia energética por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Sus áreas de interés son los mercados eléctricos, energías renovables y los sistemas eléctricos de potencia.



JOSÉ ANTONIO GUTIÉRREZ GNECCHI es Doctor en Ingeniería Eléctrica y Electrónica por la Universidad de Manchester. Es profesor/investigador de tiempo completo en el Posgrado en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Morelia. Sus áreas de interés incluyen los sistemas de medición inteligente en diversos campos como biomédica y agricultura.