

Desarrollo de un piloto de digitalización del consumo y generación de energía eléctrica en el campus UCA. Fase DEI

Palabras clave:

digitalización, descentralización, tecnología de la información, recursos energéticos, innovación.

Keywords: digitalization, decentralization, information technology, energy resources, innovation.

Development of a pilot test for the digitalization of energy consumption and generation at the UCA campus. DEI Phase

DOI: <https://doi.org/10.51378/iuca.v3i3.10353>

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (150-154)
e-ISSN: 2789-4061

Erick Giovanni Varela Guzmán

Doctor en ingeniería informática
Departamento de Electrónica e Informática
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador
evarela@uca.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2259-5909>

Carlos Aníbal Juárez Ramos

Ingeniero Electricista
Departamento de Electrónica e Informática
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador
cjuarez@uca.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3458-8303>

Mauricio Arturo Pohl Alfaro

Doctor en ciencias con especialidad en Ingeniería Biomédica
Departamento de Electrónica e Informática
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador
mapohl@uca.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-2776-8777>

Néstor Santiago Aldana Rodríguez

Maestro en ciberseguridad
Dirección de Tecnología Información e Innovación Digital
Universidad Centroamericana José Simeón Cañas
El Salvador
naldana@uca.edu.sv
ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3433-2017>

Resumen

En El Salvador se reconoce la importancia de desarrollar un modelo de generación de energía eficiente y sostenible, y la diversificación de las fuentes de producción que priorice la utilización de energía renovable se presenta como una de las medidas más atractivas. Sin embargo, existen algunas limitaciones para

implementar este tipo de estrategias, por ejemplo, un marco regulatorio adaptado a las nuevas necesidades y la falta de esquema estructural para el registro de datos. Este trabajo busca abordar la segunda cuestión a través del desarrollo de una herramienta basada en la tecnología Blockchain que permita gestionar de manera descentralizada y transparente los datos de generación y consumo de energía renovable. Como prueba piloto se realiza un despliegue de la aplicación en el campus de la UCA con el objetivo de verificar la viabilidad técnica y funcional de la herramienta propuesta, al mismo tiempo que se identifican puntos de mejora. La herramienta se basa en una aplicación descentralizada, construida con contratos inteligentes, y que almacena la información en una red Blockchain. La herramienta descrita en este trabajo se presenta como una solución innovadora que combina una serie de tecnologías de vanguardia para desarrollar un modelo de trabajo que promueve la diversificación de las fuentes energéticas.

Introducción

En El Salvador, se reconoce la importancia de avanzar hacia un modelo de producción de energía que permita la diversificación de fuentes de energía renovable para satisfacer de forma sostenible la creciente demanda energética. Debido a las características geográficas del país, la diversificación de la matriz energética es una alternativa muy atractiva. Este trabajo propone profundizar en el tema de la digitalización de la energía, un modelo que busca aprovechar a las tecnologías con la intención de mejorar la eficiencia de los procesos de generación y consumo de energía eléctrica (Singh *et al.*, 2022). Por tanto, se define la siguiente pregunta de investigación ¿Cómo es posible potenciar el uso de energías renovables en El Salvador y hacer eficiente el uso de la energía eléctrica generada a través de la implementación de tecnologías de información y comunicación? Para resolver esta pregunta, se propone cumplir con los siguientes objetivos: (i) Desarrollar una herramienta tecnológica para digitalizar el proceso de generación de energía renovables y consumo de energía eléctrica. (ii) También se espera implementar una prueba piloto en el campus de la UCA para verificar la viabilidad de la herramienta desarrollada.

La metodología empleada en este trabajo se fundamenta en las lecciones aprendidas durante el desarrollo de una herramienta basada en Blockchain, integrada con otras tecnologías emergentes. En primer lugar, se lleva a cabo una descripción detallada del contexto; posteriormente, se define la arquitectura de la herramienta propuesta. Finalmente, se analizan y evalúan los resultados obtenidos.

Antecedentes

Históricamente, el sector eléctrico en El Salvador ha operado bajo un modelo de trabajo centralizado tradicional, que incluye diferentes actores clave (ver figura 1), y donde grandes plantas se encargan de generar energía que luego es transmitida y distribuida a los consumidores finales (Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones [SIGET], 2024). De Acuerdo con los datos de SIGET (2024), en 2022, el 77.40% de la energía producida fue generada de fuentes renovables, siendo las principales la hidráulica (31.3%), geotérmica (20.5%) y fotovoltaica (15.7%). Sin embargo, eventos climáticos, como El Niño en 2023 (Raghuraman *et al.*, 2024), han demostrado la vulnerabilidad del modelo de generación de energía eléctrica de El Salvador, ya que la reducción en la generación hidroeléctrica implicó a un aumento en el uso de fuentes no renovables, incrementando su proporción de uso del 22.60% en 2022 al 39.10% en 2023 (SIGET, 2024).

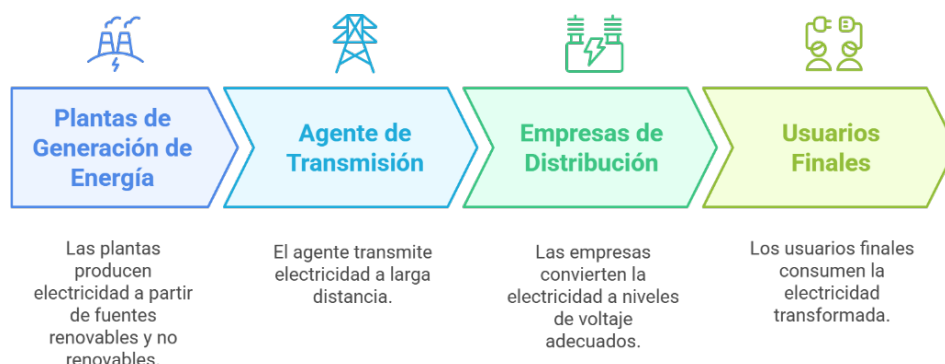
Erick Giovanni Varela
Guzmán, Carlos Aníbal
Juárez Ramos, Mauricio
Arturo Pohl Alfaro,
Néstor Santiago Aldana
Rodríguez

Desarrollo de un piloto
de digitalización del
consumo y generación
de energía eléctrica
en el campus UCA.
Fase DEI

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (150-154)
e-ISSN: 2789-4061

Figura 1

Flujo del mercado eléctrico salvadoreño



Nota. SIGET (2024).

Las autoridades de El Salvador reconocen la necesidad de implementar estrategias que permitan modernizar el sector eléctrico para superar los desafíos del modelo de trabajo actual y fomentar el desarrollo económico y social del país (Consejo Nacional de Energía [CNE], 2016). En este marco, uno de los principales objetivos es la diversificación de las fuentes de energía, para satisfacer la creciente demanda energética, por lo que surge un nuevo actor clave: los auto productores renovables, pequeños generadores que no participan directamente en el mercado mayorista, pero pueden vender sus excedentes de energía a las distribuidoras. Este modelo ha incrementado la participación de las energías renovables en la matriz energética nacional y ha fortalecido la posición de El Salvador como exportador en el mercado centroamericano (Aleman, 2024; Rosales, 2024).

Herramienta basada en Blockchain para el registro de generación y consumo de energía renovable en una microrred de prueba

La tecnología Blockchain ha generado un creciente interés a nivel internacional debido a los avances significativos que ha experimentado en los últimos años. Sus características técnicas han posibilitado la creación de herramientas aplicables en múltiples áreas, como la industria, el sector público, y la sociedad en general (Mora, Mendoza-Tello *et al.*, 2021; Mora, Varela Guzmán *et al.*, 2021; Varela Guzmán *et al.*, 2024; Varela Guzmán y Melara Gálvez, 2024; Visvizi *et al.*, 2023). Teniendo en cuenta el contexto de El Salvador y las oportunidades generadas por la tecnología Blockchain, este trabajo propone el desarrollo de una herramienta que permita el registro transparente y descentralizado de generación de energía proveniente de los autoprodutores renovables.

El objetivo principal de la herramienta propuesta ha sido superar las limitaciones técnicas en el modelo actual de trabajo, para integrar y visibilizar a los auto productores renovables en la infraestructura energética salvadoreña. Los problemas incluyen: falta de herramientas para facilitar su interacción con el mercado mayorista, dificultades en la coordinación con distribuidoras, ausencia de mediciones sobre su impacto en la diversificación energética, fragmentación de datos que complica la toma de decisiones informadas, y falta de datos confiables para evaluar el avance de las políticas implementadas.

Erick Giovanni Varela
Guzmán, Carlos Aníbal
Juárez Ramos, Mauricio
Arturo Pohl Alfaro,
Néstor Santiago Aldana
Rodríguez

Desarrollo de un piloto
de digitalización del
consumo y generación
de energía eléctrica
en el campus UCA.
Fase DEI

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (150-154)
e-ISSN: 2789-4061

Cómo prueba de concepto, se implementó una versión beta de la herramienta para registrar la información generada por los sistemas fotovoltaicos conectados a la red del campus de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). La herramienta desarrollada es una aplicación descentralizada (Dapp) basada en Blockchain que permite registrar y consultar datos de generación y consumo energético. La solución utiliza otras tecnologías como IoT y comunicación por Internet para recolectar datos de los generadores.

Erick Giovanni Varela Guzmán, Carlos Aníbal Juárez Ramos, Mauricio Arturo Pohl Alfaro, Néstor Santiago Aldana Rodríguez

La herramienta desarrollada también dispone de una página web con una interfaz amigable que permite consultar registros y generar reportes básicos, y que es accesible desde (Aldana, 2024). La implementación de contratos inteligentes permite que la herramienta herede las características disponibles en la tecnología Blockchain, es decir, la aplicación es autónoma, con un alto grado de seguridad, y asegurará que todos los participantes cumplan con las condiciones establecidas (Varela Guzmán, 2023). Con el modelo de trabajo distribuido de la herramienta desarrollada, se espera promover un esquema de trabajo transparente, que funciona como una fuente de datos confiables, y que puede promover la participación de nuevos actores, como entidades observadoras y la población, que pueden auditar todas las transacciones ejecutadas.

Desarrollo de un piloto de digitalización del consumo y generación de energía eléctrica en el campus UCA. Fase DEI

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (150-154)
e-ISSN: 2789-4061

Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos a partir del despliegue de la herramienta en la fase DEI de esta investigación, ha permitido identificar algunas cuestiones técnicas y funcionales importantes. En primer lugar, con el uso de tecnologías como Blockchain, contratos inteligentes, IoT y comunicación inalámbrica se pudieron superar algunos desafíos encontrados, por ejemplo, la falta de datos confiables y de calidad, y las dificultades para coordinar a las instituciones implicadas en el proceso, por lo que se considera que se han dado respuesta a la pregunta de investigación y se han cumplido los objetivos planteados.

Sin embargo, se han detectado algunas observaciones que podrían limitar la eficiencia de la herramienta en caso de ser desplegada en un escenario real, por ejemplo, en las pruebas realizadas se detectaron cuellos de botella en momento de alta concurrencia de transacciones, por lo que deben revisar otros protocolos de comunicación. También, la implementación debería basarse en una red Blockchain híbrida en lugar de una cuyos nodos estén totalmente controlados por instituciones interesadas, esto para evitar perder las características de transparencia, confianza y descentralización. Se planea profundizar en superar estas limitantes en trabajo futuros, además de realizar un análisis del impacto socioeconómico de la implementación de esta herramienta, así como el desarrollo de modelos de predicción basados en los datos recolectados.

Referencias

- Aldana, N. (2024). *UCA Energy*. DEI. <https://dei.uca.edu.sv/energy/>
- Alemán, U. (2024, 1 de febrero). El país aumentó en 86% las exportaciones de energía, el principal proveedor regional. *El Mundo*. <https://diario.elmundo.sv/economia/el-pais-aumento-en-86-las-exportaciones-de-energia-el-principal-proveedor-regional>
- Consejo Nacional de Energía. (2016). *Política energética nacional*. Dirección General de Energía, Hidrocarburos y Minas. https://estadisticas.dgehm.gob.sv/wp-content/uploads/2016/09/Politica_Energetica.pdf

Erick Giovanni Varela
Guzmán, Carlos Aníbal
Juárez Ramos, Mauricio
Arturo Pohl Alfaro,
Néstor Santiago Aldana
Rodríguez

Desarrollo de un piloto
de digitalización del
consumo y generación
de energía eléctrica
en el campus UCA.
Fase DEI

Investigaciones UCA
2023 - 2024
Memoria bienal
Año 3, Vol. 3
Julio 2025
p (150-154)
e-ISSN: 2789-4061

- Mora, H., Mendoza-Tello, J. C., Varela Guzmán, E. G. y Szymanski, J. (2021). Blockchain technologies to address smart city and society challenges. *Computers in Human Behavior*, 122, 106854. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106854>
- Mora, H., Varela Guzmán, E., Visvizi, A. y Mollá-Sirvent, R. (2021). Introduction to a Support Model Based on Cryptocurrencies for Social Inclusion Projects. *Springer Proceedings in Complexity*, 3–12. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62066-0_1
- Raghuraman, S. P., Soden, B., Clement, A., Vecchi, G., Menemenlis, S. y Yang, W. (2024). The 2023 global warming spike was driven by the El Niño-Southern Oscillation. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 24(19), 11275–11283. <https://doi.org/10.5194/ACP-24-11275-2024>
- Rosales, D. (2024, 19 de agosto). El Salvador exportó más de 160 Gigavatios de energía a la región. *Revista Summa*. <https://revistasumma.com/el-salvador-exporto-mas-de-160-gigavatios-de-energia-a-la-region/>
- Singh, R., Akram, S. V., Gehlot, A., Buddhi, D., Priyadarshi, N. y Twala, B. (2022, 1 de septiembre). Energy System 4.0: Digitalization of the Energy Sector with Inclination towards Sustainability. *Sensors*, 22(17), 6619. <https://doi.org/10.3390/S22176619>
- Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones. (2024, 24 de septiembre). *Boletín Estadísticas Eléctricas Año 2023*. SIGET. <https://www.siget.gob.sv/download/boletin-estadisticas-electricas-ano-2023/>
- Varela Guzmán, E. (2023). *Modelos de gestión impulsados por la tecnología para el desarrollo de sociedades inteligentes* [tesis de doctorado, Universitat d'Alacant]. RUA. Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/138287>
- Varela Guzmán, E., Aguilar Navarro, M. y Reynosa Pérez, G. (2024, 13 de diciembre). El aporte de Blockchain para avanzar hacia la Industria 5.0. *Realidad Empresarial*, (19), 33-42. <https://doi.org/10.51378/reuca.vi19.8712>
- Varela Guzmán, E. y Melara Gálvez, C. (25-27 de septiembre de 2024). *Token Bienestar: una herramienta basada en Blockchain para abordar algunos desafíos de la inclusión financiera: Token Bienestar: a Blockchain-based tool to address some financial inclusion challenges*. IEEE VII Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil (AmITIC), David, Panamá. <https://doi.org/10.1109/AMITIC62658.2024.10747598>
- Visvizi, A., Mora, H. y Varela Guzmán, E. G. (2023). The case of rWallet: A block-chain-based tool to navigate some challenges related to irregular migration. *Computers in Human Behavior*, 139, 107548. <https://doi.org/10.1016/J.CHB.2022.107548>