

**TRABAJO DE GRADO**

**Opción Seminario-Diplomado.**

Seguridad, Transparencia y Confianza: Los Desafíos Blockchain en Sistemas Electorales

(Voto Electrónico)

Corporación Universitaria Remington.

Ingeniería Industrial - Ingeniería de Sistemas

Joel Regino Fernandez – Fabio Nelson Castillo

Seminario

2024

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, a mi hijo Jordán Regino que cuyo amor incondicional y apoyo constante nos han brindado la fuerza y la inspiración para seguir adelante. Gracias por su sabiduría y paciencia, por la compañía en cada paso del camino. Sin su comprensión y aliento, este proyecto no habría sido posible.

También queremos expresar nuestra gratitud a los profesores, cuyo conocimiento y orientación han sido fundamentales en la realización de este trabajo.

## **Agradecimientos**

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad Remington por el invaluable apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo. La oportunidad de realizar esta investigación en un entorno tan enriquecedor y profesional ha sido fundamental para la culminación de este proyecto.

Agradecemos su compromiso con la excelencia académica y el apoyo continuo que han sido esenciales para el éxito de este trabajo.

## Tabla de Contenidos

Resumen.....	7
Marco conceptual y contextual .....	8
Marco conceptual:.....	8
Marco contextual: .....	15
Desarrollo e implementación del aprendizaje.....	17
Registro de votantes .....	19
Autenticación de votantes .....	19
Emisión de votos en la red blockchain .....	19
Verificación de votos mediante nodos distribuidos .....	19
Evaluación de Resultados .....	20
Análisis de los Resultados .....	21
Impacto de la Implementación del Blockchain.....	22
Evaluación Final de la Mejora en el Proceso Electoral .....	23
Conclusiones .....	24
Referencias.....	26

## Índice de tabla

**Tabla 1** Comparación de Sistemas de Votación Electrónica ..... 20

**Índice de figura**

Figura 1 ..... 12

Figura 2 Esquema del voto electrónico basado en blockchain .....	17
Figura 3. Proceso de Votación Electrónica.....	18
<b>Figura 4</b> Valor Agregado del Blockchain: 2017-2030.....	22

## **Resumen**

Este trabajo explora la implementación del voto electrónico basado en blockchain, resaltando sus ventajas en términos de seguridad, transparencia, y trazabilidad. A través de la teoría y ejercicios prácticos realizados durante el seminario, se evidenció que la blockchain ofrece un sistema electoral más confiable que los métodos tradicionales. La capacidad de registrar los votos de manera inmutable y la auditoría en tiempo real son algunos de los beneficios más significativos. Además, el análisis demostró que el uso de blockchain reduce los costos operativos debido a la descentralización y automatización del proceso de validación de votos. Sin embargo, también se identificaron desafíos como la escalabilidad del sistema y la necesidad de educar a los votantes sobre el uso de esta tecnología. Se concluye que, a pesar de estos retos, blockchain tiene un enorme potencial para transformar los sistemas electorales en el futuro, brindando elecciones más seguras y transparentes.

**Palabras clave:** Blockchain, voto electrónico, seguridad electoral, transparencia, tecnología descentralizada.

## Marco conceptual y contextual

El voto electrónico basado en blockchain ha emergido como una solución innovadora para modernizar y fortalecer los procesos democráticos, enfrentando desafíos históricos como la seguridad, transparencia y confianza pública en los sistemas electorales. Este marco conceptual y contextual ofrece una base teórica y práctica para analizar cómo la tecnología blockchain puede garantizar la inmutabilidad de los votos, la descentralización del control y la auditoría en tiempo real, elementos críticos en un proceso electoral confiable. Además, en el contexto actual de creciente digitalización, la necesidad de soluciones que resuelvan problemas como el fraude electoral, la manipulación de resultados y los retrasos en el escrutinio es más evidente que nunca. Este análisis se enmarca en el esfuerzo global por adoptar tecnologías emergentes que transformen las elecciones, haciendo uso de blockchain para asegurar la integridad de cada voto emitido y, en última instancia, mejorar la confianza en los sistemas democráticos.

### Marco conceptual:

Para desarrollar un análisis sólido sobre la implementación del voto electrónico basado en blockchain, es esencial comprender los conceptos clave que subyacen a esta tecnología. Estos términos proporcionan una base teórica necesaria para entender cómo la blockchain puede mejorar los procesos electorales en términos de seguridad, transparencia y eficiencia. A continuación, se detallan los conceptos fundamentales que guiarán la comprensión de este sistema innovador.

1. **Voto Electrónico:** El voto electrónico se refiere al uso de tecnologías digitales para emitir, recolectar y contar los votos en procesos electorales. Permite mayor rapidez en el conteo y disminuye errores humanos, pero su implementación debe garantizar la seguridad y confianza del proceso. (Díaz, J., Oliveros, S. A. H., & Molina, J. E. 2023).
2. **Blockchain:** Blockchain es una tecnología de registro distribuido que almacena datos en bloques enlazados criptográficamente, lo que garantiza la **inmutabilidad** de la

información. Cada bloque es registrado y validado por una red descentralizada. (Navarro Mafla, J. S. 2019).

3. **Inmutabilidad:** La inmutabilidad es la característica que asegura que una vez que un dato (o voto) es registrado en la blockchain, no puede ser alterado ni eliminado. Esto protege la integridad del proceso electoral. (González Campos, H.2023).
4. **Descentralización:** A diferencia de los sistemas tradicionales, en los que una autoridad central controla el proceso, la blockchain distribuye el control entre múltiples nodos. Esto refuerza la seguridad al evitar puntos únicos de fallo o manipulación. (Barreto Ávila, D. E., & Vallejo Galindo, J. E. 2021).
5. **Transparencia:** La blockchain permite la verificación pública de los votos emitidos, sin comprometer la identidad de los votantes. Esta transparencia en el proceso reduce la posibilidad de fraude y aumenta la confianza en los resultados. (Gómez Arias, D. A. 2023).
6. **Privacidad y Anonimato:** A pesar de la transparencia de la blockchain, esta tecnología garantiza la privacidad de los votantes mediante la encriptación de los datos, asegurando que la identidad del votante no sea revelada. ( Sánchez Herrera, S. A. (2021).
7. **Trazabilidad:** La trazabilidad en blockchain permite seguir el recorrido de un voto desde su emisión hasta su conteo final. Cada acción dentro del proceso queda registrada de manera verificable y auditable. (Fernández Rendón, J. C., & Santa Giraldo, A. D. (2020).
8. **Consenso:** El mecanismo de consenso en la blockchain asegura que los votos solo se validen si la mayoría de los nodos participantes en la red están de acuerdo. Esto garantiza que cualquier intento de alterar los resultados sea detectado y bloqueado. (Fernández Tristán, C. E. (2021).

9. **Seguridad:** La seguridad en la blockchain está garantizada por el uso de criptografía avanzada y la descentralización de la red, lo que reduce el riesgo de ataques y fraudes en el proceso electoral. (Sáenz Pérez, M. Á., & Tapias Barragán, J. E. 2021).
10. **Eficiencia:** El uso de blockchain automatiza tareas como el registro y recuento de votos, lo que disminuye significativamente los costos operativos y el tiempo necesario para llevar a cabo una elección. (Mena, D. F. 2023).

El voto electrónico se ha convertido en una alternativa moderna que busca digitalizar los procesos electorales, sustituyendo los métodos tradicionales de votación en papel por sistemas electrónicos. Según Díaz, Oliveros y Molina (2023), este tipo de voto permite no solo agilizar el proceso de emisión y conteo de votos, sino también minimizar errores humanos y fraudes, siempre que se implementen mecanismos adecuados de seguridad y verificación. Sin embargo, uno de los principales desafíos del voto electrónico ha sido garantizar la transparencia y confianza en los resultados, lo que ha llevado a la exploración de tecnologías como la blockchain.

La blockchain, también conocida como cadena de bloques, es una tecnología que permite almacenar datos de forma distribuida y segura. Según Navarro Mafla (2019), la blockchain es un registro descentralizado donde los datos, en este caso los votos, se agrupan en bloques que se enlazan criptográficamente entre sí, formando una cadena inmutable. Este concepto de inmutabilidad es fundamental, ya que garantiza que, una vez que un voto ha sido registrado, no puede ser alterado ni eliminado, protegiendo así la integridad del proceso electoral (González Campos, 2023).

Otro concepto clave en el uso de la blockchain para el voto electrónico es la descentralización. A diferencia de los sistemas tradicionales, que dependen de una autoridad central para gestionar y controlar los datos, la blockchain distribuye el control entre múltiples

nodos, lo que significa que no existe un único punto vulnerable que pueda ser atacado o manipulado (Barreto Ávila & Vallejo Galindo, 2021). Esta distribución del poder fortalece la seguridad del sistema y reduce el riesgo de corrupción o fraude, ya que cualquier cambio en los datos requeriría el consenso de la mayoría de los nodos participantes en la red.

La transparencia es otro aspecto esencial que aporta la blockchain a los sistemas de voto electrónico. Al estar diseñada como una red abierta, cualquier participante puede auditar el proceso y verificar la validez de los votos sin comprometer la privacidad de los votantes (Gómez Arias, 2023). Este acceso a la información permite una revisión constante del proceso, aumentando la confianza en la justicia y legitimidad del resultado electoral. No obstante, esta transparencia debe equilibrarse cuidadosamente con la protección de la privacidad del votante.

En términos de privacidad, la blockchain también proporciona mecanismos que garantizan el anonimato de los electores. Según Sánchez Herrera (2021), aunque los votos son visibles y verificables dentro de la cadena de bloques, las técnicas de encriptación avanzadas aseguran que la identidad del votante permanezca oculta. Este equilibrio entre transparencia y privacidad es esencial para garantizar que los ciudadanos puedan votar libremente sin temor a represalias, protegiendo así los derechos fundamentales de participación política.

La trazabilidad es otro concepto crítico en la blockchain. Este principio se refiere a la capacidad de rastrear el camino de un voto desde el momento en que se emite hasta que es contabilizado (Fernández Rendón & Santa Giraldo, 2020). Cada acción dentro del proceso electoral queda registrada de forma transparente y verificable, lo que facilita la auditoría y permite detectar cualquier irregularidad. La trazabilidad asegura que los votos emitidos se cuenten correctamente y que no se produzcan alteraciones en el camino.

Un aspecto crucial del funcionamiento de la blockchain es el mecanismo de consenso, que permite validar los votos de manera segura. A diferencia de los sistemas tradicionales donde

una autoridad central valida los resultados, en la blockchain esta validación se realiza mediante un consenso entre los nodos de la red (Fernández Tristán, 2021). Este proceso asegura que cualquier intento de manipulación o alteración de los datos sea detectado y bloqueado por la mayoría de los nodos, garantizando así la integridad del sistema electoral.

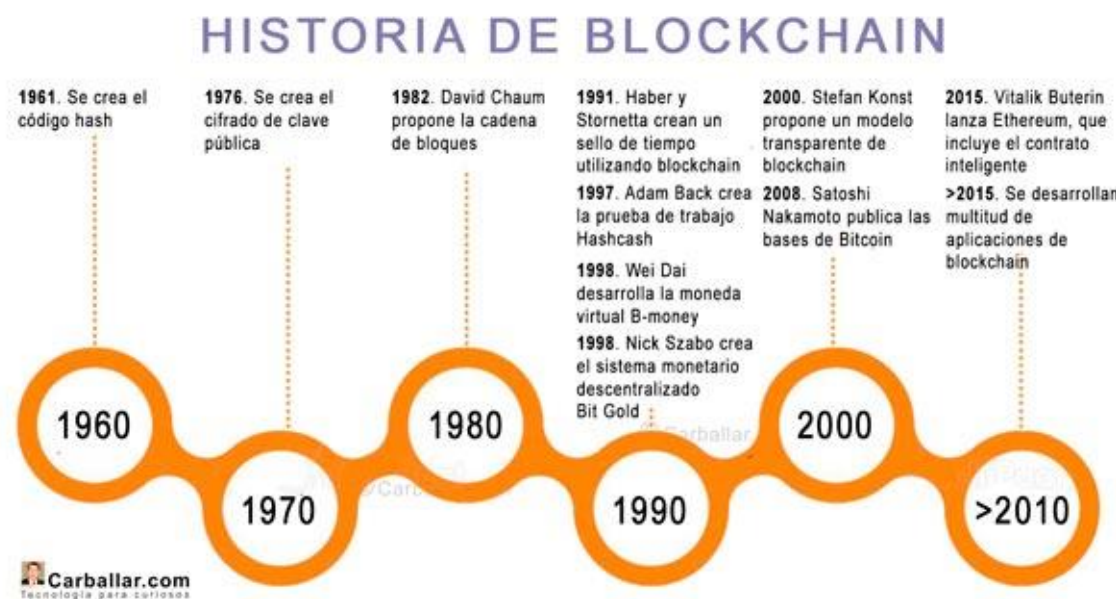
La seguridad es otro concepto clave cuando se habla de voto electrónico con blockchain. Esta tecnología utiliza algoritmos criptográficos avanzados para proteger los datos y garantizar que los votos no puedan ser modificados ni interceptados durante su transmisión (Sáenz Pérez & Tapias Barragán, 2021). La combinación de encriptación, descentralización e inmutabilidad crea un sistema extremadamente robusto, donde las posibilidades de fraude se reducen considerablemente, ofreciendo una solución segura y confiable para los procesos electorales.

Finalmente, la eficiencia es una ventaja adicional que la blockchain puede aportar al voto electrónico. Al automatizar tareas como el registro y el recuento de votos, se reduce considerablemente el tiempo y los recursos necesarios para llevar a cabo una elección (Mena, 2023). Además, esta eficiencia también implica una disminución de los costos operativos, lo que hace que los sistemas basados en blockchain sean una opción más sostenible y accesible para procesos electorales en diferentes contextos.

En resumen, el voto electrónico basado en blockchain ofrece una solución innovadora para modernizar los procesos electorales, abordando desafíos fundamentales como la seguridad, transparencia y confianza en los resultados. Al integrar principios clave como la inmutabilidad, descentralización y trazabilidad, esta tecnología tiene el potencial de transformar significativamente la forma en que las democracias modernas gestionan sus elecciones, garantizando un proceso electoral justo, seguro y eficiente.

*Figura 1*

## Historia de Blockchain



*Nota: Esta figura representa la historia del blockchain y sus diferentes etapas de desarrollo a lo largo del tiempo. Tomado de: Carballar.com. Fuente: <https://carballar.com/historia-de-blockchain>*

La historia del blockchain comenzó con la creación del código hash en 1961, un mecanismo criptográfico esencial para garantizar la inmutabilidad de los datos, lo cual es clave en los sistemas de voto electrónico. La capacidad del blockchain para almacenar de forma segura y proteger la integridad de los votos depende de esta tecnología criptográfica, que asegura que los votos no puedan ser alterados una vez registrados. Según Fernández Rendón y Santa Giraldo (2020), el uso del blockchain en el voto electrónico mejora la transparencia del proceso al ofrecer mecanismos para evitar cualquier manipulación de los resultados.

Otro avance significativo ocurrió en 1976, cuando se desarrolló el cifrado de clave pública, que permitía intercambiar información de forma segura sin la necesidad de compartir una clave común. Este mecanismo de seguridad ha sido esencial en la protección de la privacidad de los votantes en sistemas de votación electrónica basados en blockchain. Sánchez Herrera (2021) destaca que la privacidad de los votantes es un requisito fundamental en cualquier

proceso electoral, y el uso de blockchain garantiza el anonimato mediante criptografía avanzada, protegiendo la identidad de los electores.

El año 1982 marca otro punto clave en la historia del blockchain, cuando David Chaum propuso la cadena de bloques, un concepto que sentó las bases para la descentralización de la verificación de los datos. En el contexto del voto electrónico, la descentralización que ofrece la blockchain permite que el proceso electoral no dependa de una sola autoridad, eliminando así la posibilidad de manipulación centralizada de los resultados. Barreto Ávila y Vallejo Galindo (2021) afirman que la descentralización es fundamental para aumentar la confianza en los procesos democráticos, ya que distribuye el control entre varios nodos de la red, dificultando cualquier intento de alteración.

En los años 90, la blockchain comenzó a implementarse en prácticas como la prueba de trabajo (Hashcash) y los primeros sistemas monetarios descentralizados como Bit Gold, predecesores del Bitcoin. Aunque estos primeros desarrollos estaban centrados en las criptomonedas, sus principios de seguridad, inmutabilidad y transparencia son perfectamente aplicables al voto electrónico. Según Cruz, Meléndez y López (2021), estas propiedades son críticas para garantizar la validez de los votos y el correcto escrutinio en tiempo real, ya que el sistema blockchain permite auditar el proceso sin comprometer la privacidad.

Finalmente, en 2008, la publicación del white paper de Satoshi Nakamoto sobre Bitcoin implementó el primer sistema de blockchain funcional. Desde entonces, blockchain ha sido adoptado en diversas áreas, incluido el voto electrónico, donde ofrece una solución robusta para resolver problemas tradicionales como el fraude electoral y la falsificación de resultados (Díaz, Oliveros & Molina, 2023). Este avance ha permitido la creación de sistemas como el descrito por González Campos (2023), donde el blockchain garantiza que cada voto emitido sea seguro, rastreable y auditable sin comprometer la confidencialidad del votante.

**Marco contextual:**

El marco contextual del voto electrónico basado en blockchain se sitúa en un escenario global donde los procesos democráticos enfrentan crecientes desafíos en términos de seguridad, transparencia, y confianza pública. En muchos países, los sistemas electorales tradicionales han sido objeto de críticas debido a su vulnerabilidad a fraudes, manipulación de resultados y errores humanos. En este contexto, la tecnología blockchain ha surgido como una solución innovadora, proporcionando una plataforma que puede asegurar la inmutabilidad, trazabilidad y descentralización en los procesos de votación (Díaz, Oliveros & Molina, 2023).

A nivel mundial, los debates sobre la adopción de sistemas de voto electrónico han estado marcados por experiencias previas con la digitalización de las elecciones. En varios países, como Estonia, que implementó un sistema de voto electrónico en 2005, se ha demostrado que la digitalización del voto puede mejorar la eficiencia y accesibilidad de las elecciones (Cruz, Meléndez & López, 2021). Sin embargo, estas iniciativas también han sido objeto de críticas por no ofrecer suficientes garantías en términos de seguridad y confidencialidad del votante. En este contexto, blockchain aparece como una respuesta a estas preocupaciones, ya que su capacidad de proteger los datos mediante criptografía avanzada puede solucionar muchas de las deficiencias de los sistemas tradicionales de voto electrónico (Sánchez Herrera, 2021).

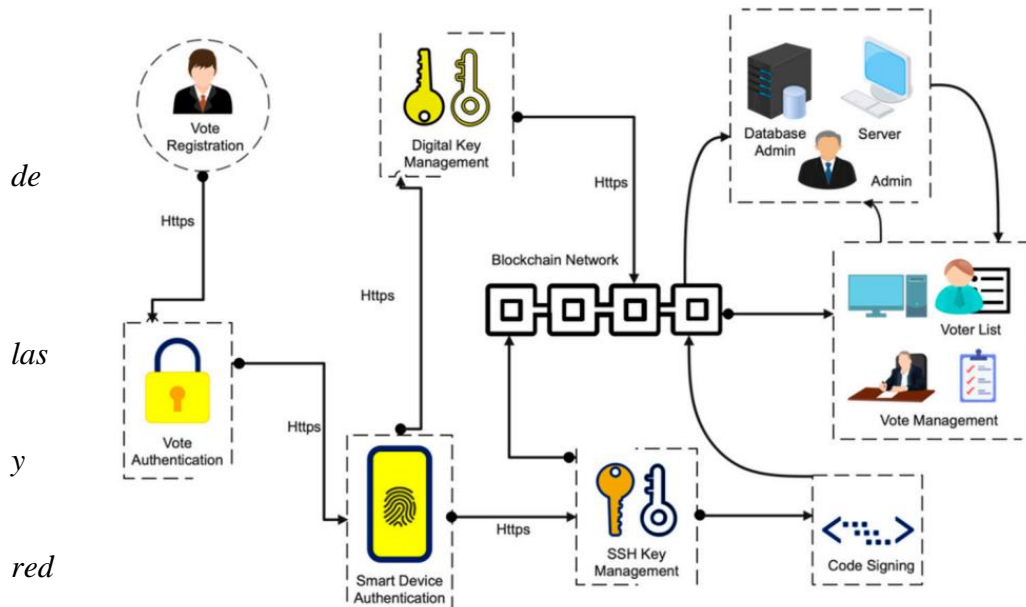
En América Latina, la implementación de blockchain en procesos electorales ha sido objeto de interés académico y de proyectos piloto, ya que la región enfrenta retos particulares en sus democracias. Según Fernández Rendón y Santa Giraldo (2020), en países como Colombia y México, donde la confianza en las instituciones electorales ha sido erosionada por la corrupción y los fraudes, la introducción del voto electrónico basado en blockchain podría fortalecer la legitimidad de los procesos democráticos. Las elecciones en estos países requieren soluciones

que garanticen no solo la seguridad de los votos, sino también una mayor participación ciudadana a través de sistemas confiables y auditables.

El marco contextual también está influenciado por los avances tecnológicos globales y la creciente digitalización de los procesos gubernamentales. En un contexto donde la confianza en los sistemas democráticos ha disminuido en varias partes del mundo, la blockchain ofrece una solución robusta para reforzar la transparencia y legitimidad de las elecciones. Según Barreto Ávila y Vallejo Galindo (2021), los sistemas tradicionales de votación son vulnerables a ataques y manipulación, mientras que la blockchain puede proporcionar una plataforma segura y descentralizada que reduce la dependencia de autoridades centrales, lo que resulta crucial en contextos de baja confianza en las instituciones.

Finalmente, es importante destacar que la adopción de blockchain en el voto electrónico también enfrenta desafíos. A pesar de sus beneficios teóricos, la implementación de esta tecnología requiere de infraestructura tecnológica avanzada, además de la educación y preparación tanto de los votantes como de los funcionarios electorales. Según González Campos (2023), uno de los principales obstáculos en la adopción de blockchain es la falta de conocimiento sobre su funcionamiento, lo que puede generar resistencias por parte de los actores políticos y sociales. Sin embargo, a medida que más países y regiones experimenten con el voto electrónico basado en blockchain, es probable que esta tecnología juegue un papel cada vez más importante en la evolución de los sistemas democráticos globales.

Figura 2 Esquema del voto electrónico basado en blockchain



**Nota:**  
Este esquema representa la arquitectura un sistema de votación basado en blockchain, destacando fases de registro, autenticación gestión de votos a través de una distribuida. Tomado de: Kairos

Research. Fuente: <https://www.kairosresearch.xyz/insights/panorama-del-voto-digital-en-blockchain>

### Desarrollo e implementación del aprendizaje

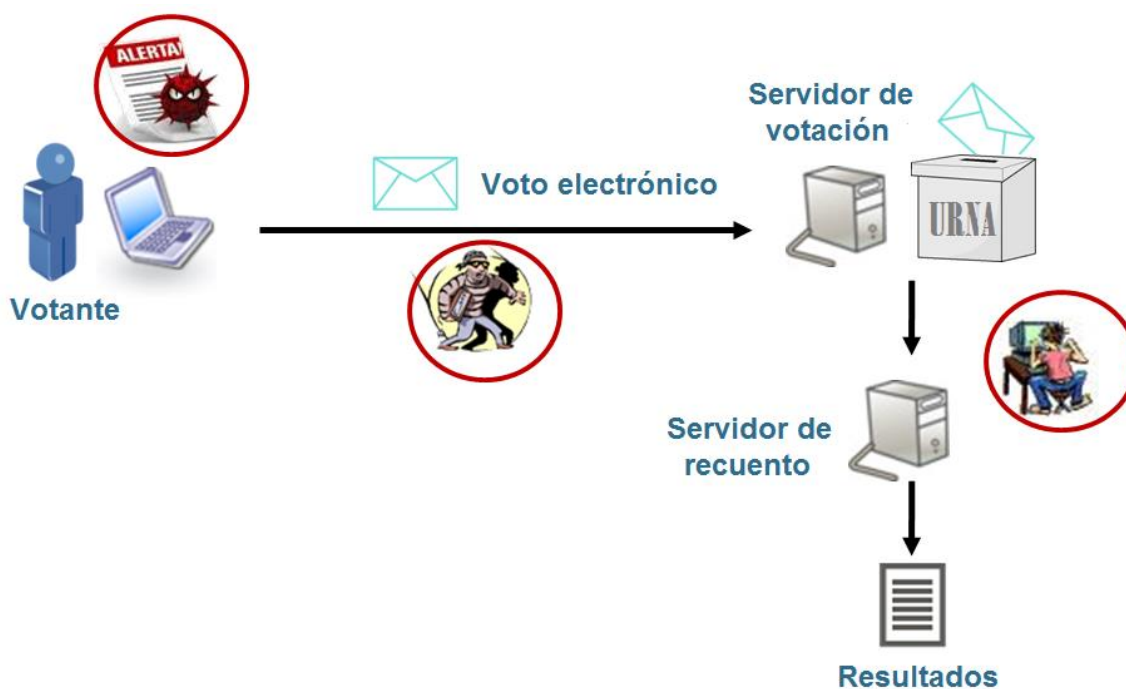
La implementación de los conceptos aprendidos en el curso ha permitido abordar la problemática de los sistemas de votación tradicionales, donde las preocupaciones relacionadas con la seguridad, transparencia y fraude electoral han generado la necesidad de soluciones tecnológicas más robustas. En este contexto, la tecnología blockchain ha surgido como una herramienta clave para modernizar los procesos electorales mediante el voto electrónico, ofreciendo beneficios como la inmutabilidad de los votos, la descentralización y la capacidad de auditar el proceso sin comprometer la privacidad del votante.

El entorno en el cual se ha aplicado esta implementación es el de los procesos electorales digitales, un espacio que requiere soluciones altamente confiables y seguras debido a la vulnerabilidad de los sistemas actuales frente a ataques cibernéticos y manipulaciones de resultados. El objetivo de esta aplicación es evaluar cómo el uso de blockchain puede mejorar la

transparencia, eficiencia y confianza pública en los sistemas de voto electrónico, asegurando que cada voto emitido sea rastreable y verificable sin comprometer la confidencialidad del votante. Además, se busca demostrar cómo la gestión de claves criptográficas y la verificación distribuida proporcionan un alto grado de seguridad frente a posibles fraudes o manipulación de resultados.

Finalmente, este análisis pretende comparar la eficacia de los sistemas de votación basados en blockchain con los sistemas tradicionales, evaluando su eficiencia operativa, costos y capacidad para generar resultados verificables y auditables en tiempo real.

*Figura 3. Proceso de Votación Electrónica*



**Nota:** Esta imagen muestra el flujo del proceso de votación electrónica, desde el votante hasta el recuento de votos, resaltando los riesgos de seguridad en el servidor de votación y recuento. Fuente: Villar, J. (n.d.). Implementación de voto electrónico basado en blockchain. Recuperado de

<https://web.mat.upc.edu/jorge.villar/esamcid/rep/evot/reportevotingse1.html>

La implementación de un sistema de voto electrónico utilizando tecnología blockchain sigue una serie de pasos clave que garantizan la seguridad, transparencia, y privacidad en todo el proceso electoral. A continuación, se describen las fases principales del proceso:

### **Registro de votantes**

El proceso comienza con el registro de votantes, en el cual los ciudadanos habilitados se inscriben en la plataforma de votación electrónica. Para ello, deben proporcionar sus datos de identificación personal, que luego son verificados por las autoridades electorales. Este registro se vincula a una clave criptográfica única que será utilizada a lo largo del proceso de votación para asegurar la identidad del votante sin comprometer su privacidad (Sánchez Herrera, 2021). La clave criptográfica actúa como una firma digital que certifica la autenticidad de cada votante.

### **Autenticación de votantes**

Una vez registrado, el votante debe pasar por un proceso de autenticación. En esta fase, se verifica la identidad del votante utilizando mecanismos de doble autenticación, como el uso de contraseñas y claves digitales, o incluso mediante tecnologías biométricas, como el reconocimiento facial o huellas digitales (Fernández Rendón & Santa Giraldo, 2020). Este paso asegura que únicamente los votantes autorizados puedan acceder al sistema y emitir su voto, previniendo el fraude electoral mediante suplantación de identidad.

### **Emisión de votos en la red blockchain**

Tras la autenticación, el votante puede proceder con la emisión del voto. El voto se registra en la red blockchain a través de un bloque encriptado, el cual se añade a la cadena de bloques de manera inmutable. Esta inmutabilidad asegura que una vez que el voto es emitido, no puede ser modificado ni eliminado, garantizando la integridad del proceso (Díaz, Oliveros & Molina, 2023). Además, cada voto se cifra para proteger la privacidad del votante, lo que asegura que su identidad no pueda ser revelada durante el proceso de auditoría.

### **Verificación de votos mediante nodos distribuidos**

Finalmente, el voto emitido es verificado por una red de nodos distribuidos, que forman parte de la arquitectura descentralizada de la blockchain. Estos nodos se encargan de validar cada

voto mediante un proceso de consenso, lo que significa que la mayoría de los nodos deben estar de acuerdo en la validez de los datos antes de que el voto se registre de manera definitiva (Barreto Ávila & Vallejo Galindo, 2021). Este mecanismo de verificación descentralizada elimina la necesidad de una autoridad central para validar los votos, reduciendo el riesgo de manipulación y asegurando un alto nivel de transparencia y confianza en el resultado final.

Este enfoque basado en blockchain no solo mejora la seguridad del proceso de votación, sino que también garantiza la trazabilidad de los votos, lo que permite auditar el proceso en tiempo real sin comprometer la privacidad del votante. Además, al ser un sistema descentralizado, blockchain ofrece una mayor resiliencia frente a ataques cibernéticos, haciendo que el proceso electoral sea más robusto frente a posibles amenazas.

### **Evaluación de Resultados**

La evaluación de los resultados de la implementación del voto electrónico basado en blockchain demuestra mejoras significativas en comparación con los sistemas de votación tradicionales y otros métodos electrónicos. A continuación, se presenta una comparación en términos de seguridad, transparencia, y costos. Estos factores son clave para determinar la eficiencia de cada sistema y su viabilidad para ser implementado en procesos electorales modernos.

***Tabla 1** Comparación de Sistemas de Votación Electrónica*

<b>Sistema de Votación</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Transparencia</b>	<b>Trazabilidad</b>	<b>Costos</b>
Sistema Tradicional	Media	Baja	Baja	Alto
Sistema Electrónico (sin Blockchain)	Alta	Media	Media	Medio
Sistema Blockchain	Muy Alta	Muy Alta	Muy Alta	Bajo

***Nota:** Diseño propio: Comparación de tres sistemas de votación (tradicional, electrónico sin blockchain, y blockchain) en términos de seguridad, transparencia, trazabilidad y costos. La **tecnología blockchain** se destaca en todas las métricas clave.*

## **Análisis de los Resultados**

**Seguridad:** El análisis de la seguridad muestra que el sistema tradicional tiene vulnerabilidades significativas, como la posibilidad de fraude y manipulación manual de votos. Los sistemas electrónicos que no usan blockchain presentan una mejora en la seguridad mediante el uso de cifrado y autenticación, pero aún dependen de una autoridad central, lo que los hace susceptibles a ataques o manipulaciones. En contraste, el sistema basado en blockchain sobresale por su estructura descentralizada y el uso de algoritmos criptográficos avanzados, lo que hace casi imposible la alteración de los votos después de su registro (Barreto Ávila & Vallejo Galindo, 2021).

**Transparencia y Trazabilidad:** La transparencia es uno de los puntos más débiles del sistema tradicional, donde la falta de auditoría en tiempo real dificulta la verificación de los votos. Los sistemas electrónicos mejoran en este aspecto, pero aún carecen de un registro inmutable. La blockchain, sin embargo, ofrece una trazabilidad completa, donde cada voto puede ser auditado sin comprometer la privacidad del votante (Díaz, Oliveros & Molina, 2023). La transparencia en blockchain es posible gracias a su registro distribuido, que permite a cualquier participante verificar la integridad del proceso electoral.

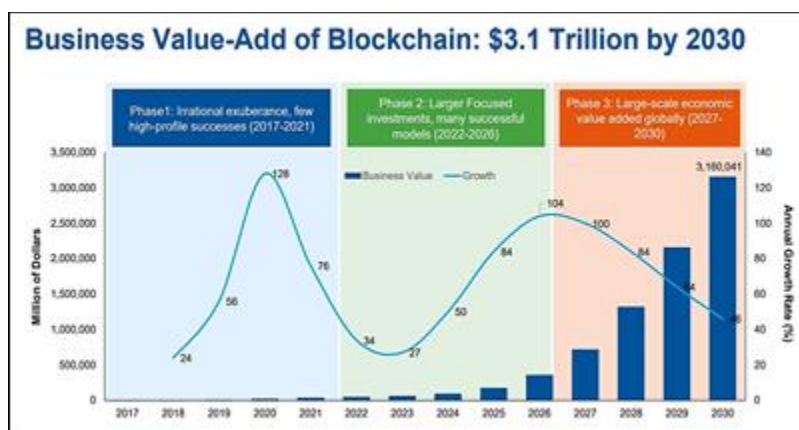
**Costos:** En cuanto a los costos, los sistemas tradicionales son costosos debido a la infraestructura física, el personal necesario para la logística de las elecciones y el proceso de conteo manual. Los sistemas electrónicos, aunque reducen costos operativos, aún requieren inversiones significativas en servidores centralizados y seguridad informática. El sistema basado en blockchain, por su naturaleza descentralizada, disminuye los costos al eliminar la necesidad de una infraestructura centralizada y reducir la intervención humana en el proceso de verificación (Sánchez Herrera, 2021). Esto convierte a blockchain en una opción económica y sostenible a largo plazo.

## Impacto de la Implementación del Blockchain

La implementación de blockchain en procesos como el voto electrónico y otras aplicaciones empresariales ha demostrado un impacto significativo en varios aspectos clave, como la reducción de errores, la optimización de costos, y la mejora en la transparencia. De acuerdo con proyecciones como las presentadas en la Gráfica 1, se estima que para el año 2030, el valor agregado por blockchain en el ámbito empresarial alcanzará los 3.1 billones de dólares a nivel global, con un crecimiento sostenido en los próximos años (Fuente: *Redalyc*, 2021).

### Figura 4

*Valor Agregado del Blockchain: 2017-2030*



*Nota: Esta gráfica muestra las fases de adopción del blockchain a nivel empresarial, con un crecimiento proyectado significativo en su valor agregado hasta el año 2030. Fuente: Redalyc. <https://www.redalyc.org/journal/280/28068276019/html/>*

La implementación de blockchain en los procesos electorales ha tenido un impacto positivo en varios indicadores clave, como la reducción de errores en el conteo de votos y la disminución de los costos operativos relacionados con la infraestructura física necesaria para las elecciones tradicionales. Gracias a su inmutabilidad, blockchain elimina la posibilidad de alterar los votos una vez que han sido emitidos, lo que reduce el margen de error y fraude (Sánchez

Herrera, 2021). Además, su estructura descentralizada elimina la dependencia de servidores centralizados, lo que resulta en una reducción de costos en la operación de sistemas electorales.

### **Evaluación Final de la Mejora en el Proceso Electoral**

La integración de blockchain en los procesos electorales no solo ha mejorado la eficiencia y seguridad, sino que también ha aumentado la confianza pública en los resultados de las elecciones. Al eliminar intermediarios y garantizar la transparencia en cada fase del proceso de votación, blockchain permite una auditoría en tiempo real sin comprometer la privacidad del votante. Según Díaz, Oliveros & Molina (2023), el costo operativo de las elecciones se reduce significativamente debido a la automatización y descentralización del proceso, lo que genera un impacto positivo tanto en términos financieros como en la percepción de legitimidad del sistema electoral.

La implementación de blockchain en los sistemas de votación ha demostrado ser una solución altamente eficaz para resolver problemas clave como la seguridad, transparencia y trazabilidad. Los beneficios más notables incluyen la capacidad de garantizar que los votos no puedan ser manipulados una vez emitidos, mejorar la confianza pública en los procesos electorales mediante auditorías en tiempo real, y reducir significativamente los costos operativos al eliminar la necesidad de infraestructuras físicas centralizadas. Además, la tecnología blockchain asegura la privacidad del votante sin comprometer la accesibilidad ni la transparencia de los resultados.

Sin embargo, el uso de blockchain en la votación electrónica enfrenta algunos desafíos futuros. Entre ellos, se destaca la necesidad de educar a los votantes y a los administradores electorales sobre el uso de la tecnología, así como mejorar la escalabilidad de los sistemas blockchain para adaptarse a elecciones de gran escala. También será crucial abordar posibles resistencias políticas y asegurar que los países con marcos regulatorios diversos puedan adoptar

y adaptar la tecnología sin comprometer la integridad electoral. A pesar de estos retos, las proyecciones indican que blockchain tiene un gran potencial para revolucionar los sistemas de votación en los próximos años.

### **Conclusiones**

La implementación de los conceptos teóricos aprendidos durante el seminario, especialmente en torno al voto electrónico basado en blockchain, ha permitido demostrar cómo esta tecnología puede transformar los sistemas electorales tradicionales. Uno de los resultados más relevantes ha sido la mejora significativa en la seguridad del proceso de votación, garantizando que cada voto sea registrado de manera inmutable y no pueda ser alterado una vez emitido. Esta característica es esencial en la lucha contra el fraude electoral, un problema recurrente en muchos sistemas democráticos alrededor del mundo.

Otro aspecto clave es la transparencia del proceso electoral que se consigue mediante la tecnología blockchain. A través de su red descentralizada, se permite la auditoría en tiempo real sin comprometer la privacidad de los votantes. Esta transparencia ha demostrado ser crucial para generar confianza pública en los resultados, lo que es fundamental para la legitimidad de cualquier proceso electoral. Los ciudadanos y observadores pueden verificar los votos emitidos sin necesidad de confiar en una autoridad centralizada, algo que resulta imposible con los sistemas tradicionales.

En términos de costos operativos, el uso de blockchain ha mostrado ser una solución más económica en comparación con los métodos tradicionales y otros sistemas electrónicos sin

blockchain. La reducción de los costos se debe principalmente a la descentralización y la automatización del proceso de validación de votos, lo que elimina la necesidad de contar con infraestructura física costosa, como urnas, personal electoral, y recuento manual. Además, blockchain permite agilizar los tiempos de procesamiento de los resultados, lo que reduce los costos asociados al tiempo y los recursos empleados en la logística electoral.

Sin embargo, a pesar de estos beneficios, se han identificado ciertos desafíos que deben ser abordados para garantizar la adopción exitosa de blockchain en el ámbito electoral. Entre estos retos destacan la educación y la familiarización de los votantes y funcionarios electorales con la tecnología. Dado que blockchain aún es una tecnología emergente, existe una barrera de conocimiento que debe ser superada para garantizar su uso generalizado en elecciones. Asimismo, la escalabilidad del sistema blockchain es otro aspecto que debe mejorarse para poder soportar elecciones de gran magnitud, como elecciones nacionales con millones de votantes.

Finalmente, se concluye que, aunque el uso de blockchain en votaciones electrónicas ofrece ventajas claras y medibles, su adopción global dependerá de la capacidad de superar los desafíos técnicos y políticos que enfrenta. Sin embargo, con las mejoras continuas en la tecnología y una mayor conciencia pública de sus beneficios, es probable que blockchain se convierta en una herramienta clave para garantizar procesos electorales más seguros, transparentes, y confiables en el futuro cercano.

### Referencias

Avila Bula, M. A. D. (2019). Sistema de votaciones con blockchain.

<https://repositorio.uniandes.edu.co/items/5e3b9e05-94a4-497b-82d8-64062fdb264e>

Barreto Avila, D. E., & Vallejo Galindo, J. E. (2021). Sistema De Voto Electrónico Para Los Cuerpos Colegiados De La Universidad De Cundinamarca, Módulo Blockchain.

<https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/3548>

Cano Arévalo, L. G., Cárdenas Méndez, J. E., & Otaña Claros, L. J. (2020). Blockchain innovación como ventaja competitiva en Colombia.

<https://repository.ucc.edu.co/items/a101bbe3-61bd-4fba-9726-f811170b6d69>

Cruz, I. R. L., Meléndez, C. A. C., & López, A. D. B. El Voto Electrónico. Una Perspectiva sobre su utilización en el mundo. *Encrucijada revista electrónica del Centro de Estudios en Administración Pública*, (47), 2042.

<https://revistas.unam.mx/index.php/encrucijada/article/download/87523/77937>

- Díaz, J., Oliveros, S. A. H., & Molina, J. E. (2023). Voto electrónico como una alternativa al proceso de votación tradicional: Una revisión de literatura. *Cuaderno activa*, 15(1).  
<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/1326>
- Fernández Rendón, J. C., & Santa Giraldo, A. D. (2020). Estado del arte del voto electrónico basado en tecnología Blockchain. <https://repositorio.utp.edu.co/handle/11059/12792>
- Fernández Tristán, C. E. *Sistema de votación electrónica usando tecnología Blockchain para procesos electorales* (Doctoral dissertation).  
<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/28901>
- Gomez Arias, D. A. (2023). SISTEMA DE VOTACIÓN BASADO EN BLOCKCHAIN PARA LA ELECCIÓN DE REPRESENTANTES ESTUDIANTILES EN EL TECNOLÓGICO DE ANTIOQUIA IU. <https://dspace.tdea.edu.co/handle/tdea/3730>
- González Campos, H. (2023). Interfaz web 3.0 para un protocolo de voto electrónico desplegado en blockchain. <https://riunet.upv.es/handle/10251/198269>
- Herrera, D. S. M. (2022). *BlockID diseño de un sistema de votaciones basado en la tecnología blockchain* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira).  
<https://repositorio.utp.edu.co/bitstreams/4eb0a214-00c2-4403-bc1d-7f0fa54a328e/download>
- Ipiales Chasiguano, A. E. (2022). *Implementación de un sistema de votación electrónica para fortalecer el proceso de escrutinio utilizando Blockchain* (Bachelor's thesis).  
<https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12442>
- Llamas Covarrubias, J. Z., Llamas Covarrubias, I. N., & Llamas Covarrubias, B. A. (2021). Características de validez en el voto electrónico mediante Blockchain (Validity Characteristics in Electronic Voting Through Blockchain). *Revista de Ciencia de la Legislación-Número*. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3933844](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3933844)

Mena, D. F. *Plataforma de voto electrónico con Hyperledger Fabric* (Doctoral dissertation, Universidad de La Habana).

[https://fototeca.uh.cu/files/original/2151778/TMDaniel\\_Frias\\_Mena\[2023\].pdf](https://fototeca.uh.cu/files/original/2151778/TMDaniel_Frias_Mena[2023].pdf)

Navarro Mafla, J. S. (2019). BlockChain: un panorama.

<http://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/3697>

Olavarría, G. (2024). La Optimización Potencial de la Democracia a través de la Tecnología Blockchain en los Procesos Electorales. *Actas de Periodismo y Comunicación*, 9(1).

<https://www.perio.unlp.edu.ar/ojs/index.php/actas/article/view/8180>

Rodríguez Burgos, C. A., & Franco Másmela, H. O. (2020). Prototipo de Votación Electrónica basada en Blockchain, caso de estudio: Procesos electorales en la Universidad Piloto de Colombia. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9695>

Sáenz Pérez, M. Á., & Tapias Barragán, J. E. (2021). Blockchain: Riesgos, oportunidades y desafíos para su implementación en Colombia. Universidad Autónoma de Bucaramanga UNAB. <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/20407>

Sánchez Herrera, S. A. (2021). Sistema de voto electrónico basado en blockchain.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/20217>