

# Electronic Voting System for Student Representatives

Luis González-Murillo, Dr.<sup>1</sup>, Liliana Félix-Ávila, Dra.<sup>2</sup>, Alfredo Arriaga-Contreras, M.I.<sup>3</sup> Ulises Arellano-Zuvieta, Est.<sup>4</sup>, Carlos González-Echavarría, Est.<sup>5</sup>, Franco Pescina-Hernández, Est.<sup>6</sup>, and Eduardo Ríos-Guzmán, Est.<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, luis.murillo@uaslp.mx, lfelixa@uaslp.mx, alfredo.arriaga@uaslp.mx, arellanozuvieta@gmail.com, carlos99arturo@hotmail.com, franco-pescina@hotmail.com, cesar\_rios09@hotmail.com

*Abstract*– Electronic voting systems help streamline the voting process and allow the results of the electoral process to be known in a short time. These systems must provide certainty of the results obtained, so it is necessary to have security schemes and means to carry out audits. This article describes the design of an electronic voting system. The electronic ballot box has security measures such as double authentication, data encryption, biometric validation, and operation without an external connection. Once the voting process is complete and the ballot box is moved to a site with controlled access, the electronic ballot box can be connected to a server to download the voting data. The ballot box allows you to audit votes without the possibility of associating votes with voters. The urn design also included features that promote ease of use. This project is presented as an example of the application of engineering in an integrative project course, which is evidence of the development of student competencies.

*Keywords*– Capstone project, electronic voting.

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

# Sistema de Votación Electrónico para Representantes Estudiantiles

Luis González-Murillo, Dr.<sup>1</sup>, Liliana Félix-Ávila, Dra.<sup>2</sup>, Alfredo Arriaga-Contreras, M.I.<sup>3</sup> Ulises Arellano-Zuvieta, Est.<sup>4</sup>, Carlos González-Echavarría, Est.<sup>5</sup>, Franco Pescina-Hernández, Est.<sup>6</sup>, and Eduardo Ríos-Guzmán, Est.<sup>7</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6,7</sup>Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México, luis.murillo@uaslp.mx, lfelixa@uaslp.mx, alfredo.arriaga@uaslp.mx, arellanozuvieta@gmail.com, carlos99arturo@hotmail.com, franco-pescina@hotmail.com, cesar\_rios09@hotmail.com

**Abstract**— *Los sistemas de voto electrónico ayudan a agilizar el proceso de votación y permiten conocer los resultados del proceso electoral en poco tiempo. Estos sistemas deben brindar certeza de los resultados obtenidos, por lo que es necesario contar con esquemas de seguridad y medios para realizar auditorías. Este artículo describe el diseño de un sistema de votación electrónica. La urna electrónica cuenta con medidas de seguridad como doble autenticación, encriptación de datos, validación biométrica y funcionamiento sin conexión externa. Una vez que finaliza el proceso de votación y se traslada la urna a un sitio con acceso controlado, la urna electrónica se puede conectar a un servidor para descargar los datos de la votación. La urna permite auditar votos sin posibilidad de asociar votos a electores. El diseño de la urna también incluyó características que favorecen la facilidad de uso. Este proyecto se presenta como ejemplo de la aplicación de ingeniería en un curso de proyecto integrador, el cual es una evidencia del desarrollo de competencias de los estudiantes.*

**Keywords**— *Proyecto integrador, votación.*

## I. INTRODUCCIÓN

Se han desarrollado diversas propuestas de sistemas electrónicos de votación en diferentes ámbitos. En los Estados Unidos, la Casa de Representantes empezó a utilizar una urna de votación electrónica en 1973 [1]. En México se han desarrollado sistemas electrónicos de votación que organismos electorales locales han puesto a prueba. En 2021 el organismo electoral puso a prueba 50 urnas de votación electrónicas en Coahuila y 50 en Jalisco [2]. Similarmente, en 2022 se pusieron a prueba 50 urnas de votación electrónicas en Aguascalientes [3]. Adicionalmente, hay empresas que ofrecen sistemas de votación electrónicos [4]. La iniciativa para el desarrollo del sistema electrónico que se presenta en este artículo se originó como respuesta a una convocatoria de un concurso para el desarrollo de sistemas de urnas de votación electrónica y sistemas de votación remota [5].

En las siguientes secciones se describe el diseño y desarrollo de un sistema de votación electrónico para la elección de los representantes estudiantiles de instituciones educativas. Se busca ejemplificar la aplicación de los conocimientos desarrollados por estudiantes de ingeniería en Mecatrónica en el desarrollo de prototipos tecnológicos. Los prototipos desarrollados por los estudiantes también son evidencia del desarrollo de competencias de los estudiantes en

los cursos que forman parte de su plan de estudios.

## II. DISEÑO

Al analizar el proceso de votación tradicional se identificaron problemas en diversos ámbitos. Se requieren una gran cantidad de personas para realizar diferentes tareas, entre ellas el conteo de votos. El proceso de conteo puede estar sujeto a errores e incluso a la alteración de resultados. La logística necesaria para garantizar elecciones limpias tiene un impacto importante en el proceso de elección. Las boletas impresas deben ser custodiadas desde las bodegas hasta los centros de votación. Al finalizar el conteo de votos, estas boletas se deben llevar a un lugar resguardado en el cual deberán permanecer por un tiempo determinado, el cual depende de la legislación electoral. La impresión de boletas causa un impacto en el medio ambiente, y es necesario contar con la cantidad de boletas suficiente para garantizar que los ciudadanos no se vean impedidos para votar por falta de boletas.

El sistema de votación electrónico está pensado para ser utilizado en la elección de representantes estudiantiles en instituciones educativas, pero se tomaron en cuenta los problemas identificados en procesos de votación tradicional, con el fin de aumentar su confiabilidad. Un proceso no confiable podría ser causa de conflictos.

### A. Diseño General

Los requerimientos del sistema se establecieron en base a la convocatoria mencionada previamente [5]. Los principales requerimientos son: (a) automatizar la emisión del voto, (b) conservar la secrecía del voto, (c) permitir resultados auditables, (d) facilidad de instalación y uso, (e) transportable por una persona, (f) resistente al manejo, (g) medidas de seguridad a prueba de intrusiones, (h) confiabilidad ante falla eléctrica, (i) durable, (j) facilidad de mantenimiento, (k) hardware interfaz para inicialización del módulo, (l) rastreabilidad de la ubicación, y (m) bajo costo.

El sistema electrónico de votación se diseñó para cumplir con los requerimientos mencionados. Este sistema consta de dos partes. Por un lado, se tiene una urna de votación electrónica destinada a ser colocada en los centros de votación. Esta urna opera de manera autónoma, recibe los votos y permite consultar los resultados para el sitio de votación donde está ubicada. Por otro lado, se tiene un sistema que permite concentrar los resultados de las votaciones de los

**Digital Object Identifier:** (only for full papers, inserted by LACCEI).

**ISSN, ISBN:** (to be inserted by LACCEI).

**DO NOT REMOVE**

diferentes centros de votación. Al terminar la votación la urna se traslada a un sitio resguardado, en el cual se conecta a una red local para descargar los datos al sistema central, el cual se instala en un servidor. Este sistema proporciona los resultados del total de los sitios de votación. En la siguiente sección se describe el diseño del sistema.

### B. Estructura de la Urna de Votación Electrónica

La estructura fue diseñada considerando la facilidad de transporte, resistencia, durabilidad, y aspectos de accesibilidad. En la Fig. 1 se muestra la vista exterior de la urna de votación. En esta figura se muestra (1) una pantalla touch-screen de 11 pulgadas, (2) la salida de papel de una impresora térmica, (3) un lector de huellas digitales, (4) un lector de códigos de barras y QR, y (5) las manijas para transporte. La estructura está pintada del mismo color que representa al organismo electoral en México, y se evitan colores que rememoren aquellos utilizados por los partidos políticos actuales. Las medidas de la urna de votación son 40cm x 50cm x 35 cm, y tiene un peso de 10.98 kg, lo cual contribuye a la facilidad de transportación.

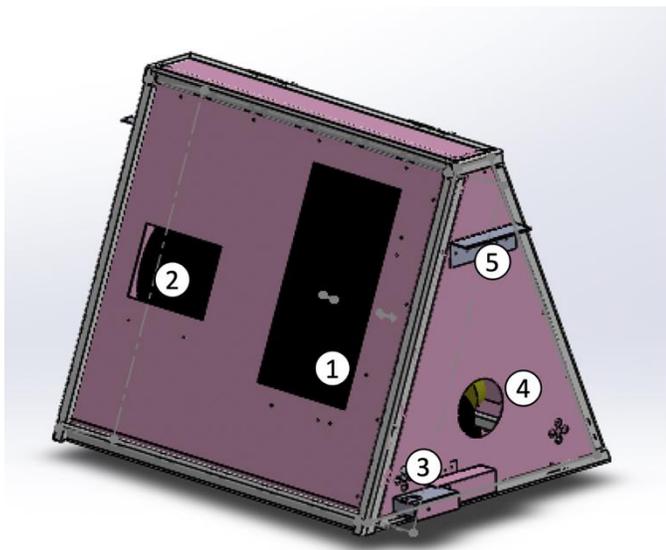


Fig. 1 Estructura de la urna de votación electrónica.

La pantalla de 11 pulgadas ubicada en la parte frontal permite la visualización adecuada de los elementos que se muestran en cada sección de la interfaz gráfica de usuario (GUI), y la posición vertical rememora la forma de una boleta de votación impresa. Por medio de esta pantalla el votante puede consultar la información de los candidatos y seleccionar el candidato por el cual votará en cada puesto disponible. El votante recibe un ticket que funciona como comprobante de voto por medio de la salida de papel ubicada a la izquierda de la pantalla. Este ticket no incluye información sobre los votos emitidos, para evitar que sea un medio de coacción.

De acuerdo con información de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica (ENADID) 2018 realizada en

México, la principal dificultad o impedimento derivado de una discapacidad es caminar, subir o bajar usando las piernas [6]. Con base en las recomendaciones para accesibilidad del Banco de México [7], la pantalla tiene una inclinación de 25° para permitir una mejor visibilidad para personas en sillas de ruedas, disminuyendo los reflejos.

### C. Componentes de la Urna

La urna de votación electrónica cuenta con una computadora con touch screen y el monitor está montado en una bisagra que permite girarlo 360°, permitiendo mostrar al votante solamente la pantalla con la interfaz gráfica. La computadora cuenta con un procesador Intel Celeron®, 4 GB de RAM, SSD de 64 GB, y sistema operativo Chrome. Una impresora térmica con acceso externo proporciona al votante un ticket como comprobante de votación, mientras que una impresora interna registra los votos emitidos y los almacena dentro de la urna de votación, proporcionando un medio para realizar auditorías. Un lector de código de barras con láser omnidireccional permite leer códigos de barras colocados en cualquier orientación, en posición paralela a la superficie lateral de la urna de votación. A la derecha del módulo está colocado un lector de huellas digitales.

El front-end y el back-end del sistema local fueron desarrollados en lenguaje C#, utilizando el entorno de desarrollo Visual Studio. El back-end en el servidor fue desarrollado en PHP. Los datos se almacenan en un DBMS MySQL.

### D. Diseño de la base de datos

Para el diseño de la base de datos se consideró la organización general de la institución donde se aplicará este sistema de votación.

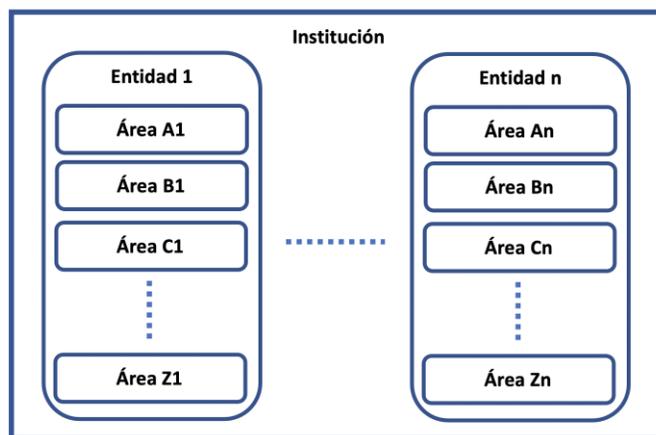


Fig. 2 Organización de la institución.

La institución está compuesta por varias entidades. Estas entidades pueden ser Escuelas o Facultades. Cada entidad incluye diferentes cantidades de áreas. Como ejemplo, la institución donde se desarrolló este sistema cuenta con 22

entidades donde podría haber grupos estudiantiles. La Facultad de Ingeniería, una de estas entidades, incluye siete áreas académicas.

Puede haber representantes estudiantiles en tres niveles: institución, entidad, y área. Los candidatos se organizan en

planillas, y los estudiantes eligen entre los candidatos registrados en las planillas para los diferentes cargos. Tomando como base la organización de la institución se elaboró el diagrama entidad-relación mostrado en la Fig. 3.

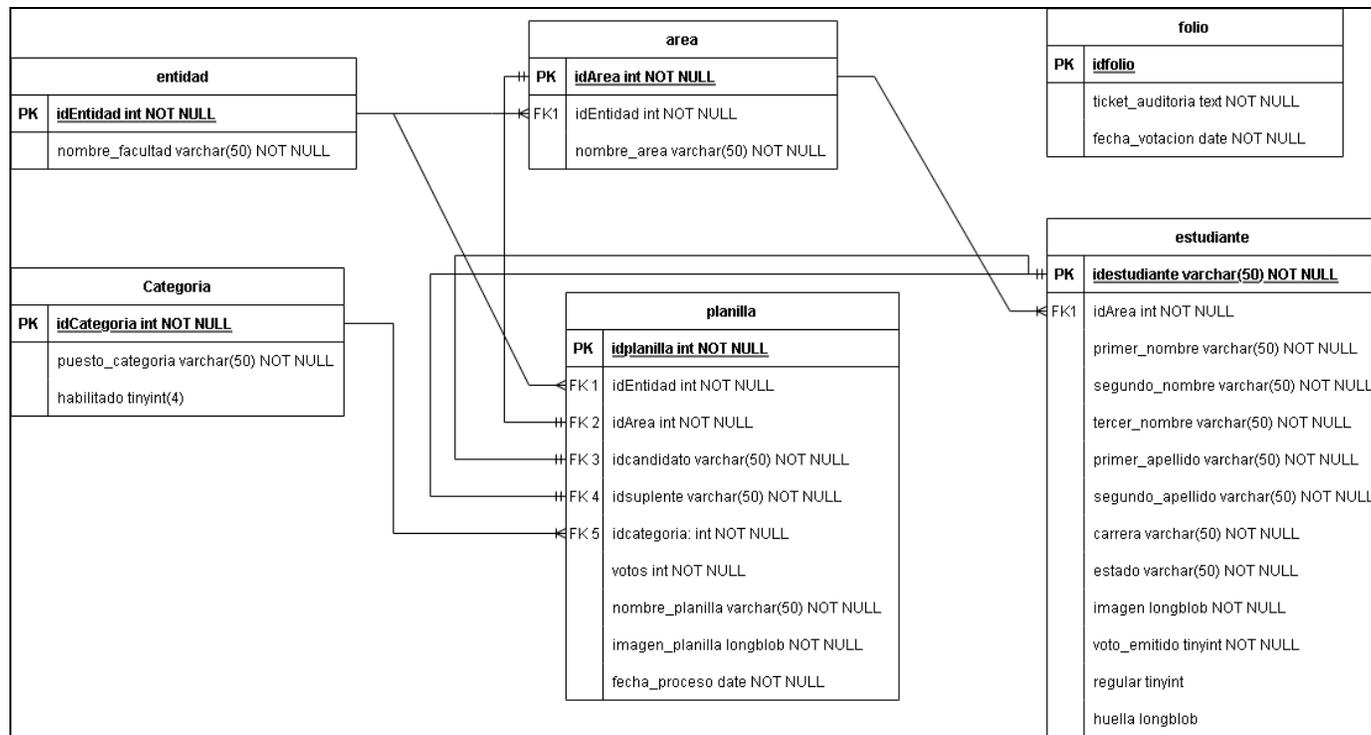


Fig. 3 Diagrama entidad-relación.

Las tablas *entidad* y *área* corresponden a la organización mostrada en la Fig. 2. La tabla *estudiante* contiene los datos de cada uno de los estudiantes inscritos en la institución, incluyendo su estatus e información que puede ser utilizada para verificar si cumple con los requisitos para formar parte de una planilla. La tabla *planilla* contiene información sobre la planilla misma y sobre los estudiantes que forman parte de ella. La tabla categoría indica los posibles cargos de los representantes. Finalmente, la tabla folio contiene información sobre los votos emitidos que puede ser auxiliar en procesos de auditoría. Esta tabla no tiene relación con otras tablas con el objetivo de que no sea posible identificar a la persona que emitió un voto determinado.

*E. Operación de la Urna de Votación Electrónica*

Durante el proceso de votación, el votante debe cumplir cuatro pasos: (1) escanear el código de barras de su identificación escolar, (2) validar su identificación con su huella digital, (3) realizar el proceso de votación, y (4) retirar su ticket comprobante. En la Fig. 4 se muestra la pantalla de instrucciones al votante.

Una vez que es validada la identidad del votante, se verifica que tenga derecho a emitir voto. Un estudiante que haya sido dado de baja temporalmente de la institución no podrá emitir voto, aun cuando sus datos estén registrados.

En el proceso de votación, el votante consulta los nombres de los candidatos de los diferentes cargos. En la Fig. 5 se muestra la información presentada para el cargo de consejero técnico. Además de las opciones registradas por las planillas, es posible proponer el nombre de un candidato independiente, o declarar nulo el voto.

Una vez que el votante termina de seleccionar a los candidatos de los diferentes cargos, se le presenta un resumen de sus selecciones, y se le pide confirmar o editar sus selecciones. Al terminar el proceso de votación, un usuario con privilegios puede acceder a las opciones del sistema que permiten cerrar el programa de votaciones y apagar el equipo.



Fig. 4 Pantalla de instrucciones.

El usuario con privilegios puede imprimir el resumen de votos emitidos al final de la jornada, pero también puede hacerlo durante la jornada. Esto permite tener un sistema de resultados preliminares tomando directamente los votos realizados hasta el momento, sin comprometer la identidad de los votantes.

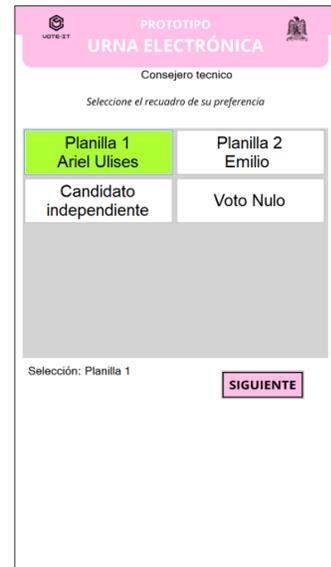


Fig. 5 Selección de candidatos a un cargo.

#### F. Configuración de la Urna de Votación Electrónica

El sistema de la urna electrónica permite que un usuario con privilegios consulte la información de los estudiantes para verificar si hay algún problema, como es el caso de los estudiantes en baja temporal que intenten emitir voto.

En este sistema también se registran los candidatos a los diferentes puestos. En la Fig. 6 se muestra la ventana de registro de candidatos. En esta sección también se puede realizar el registro de planillas.

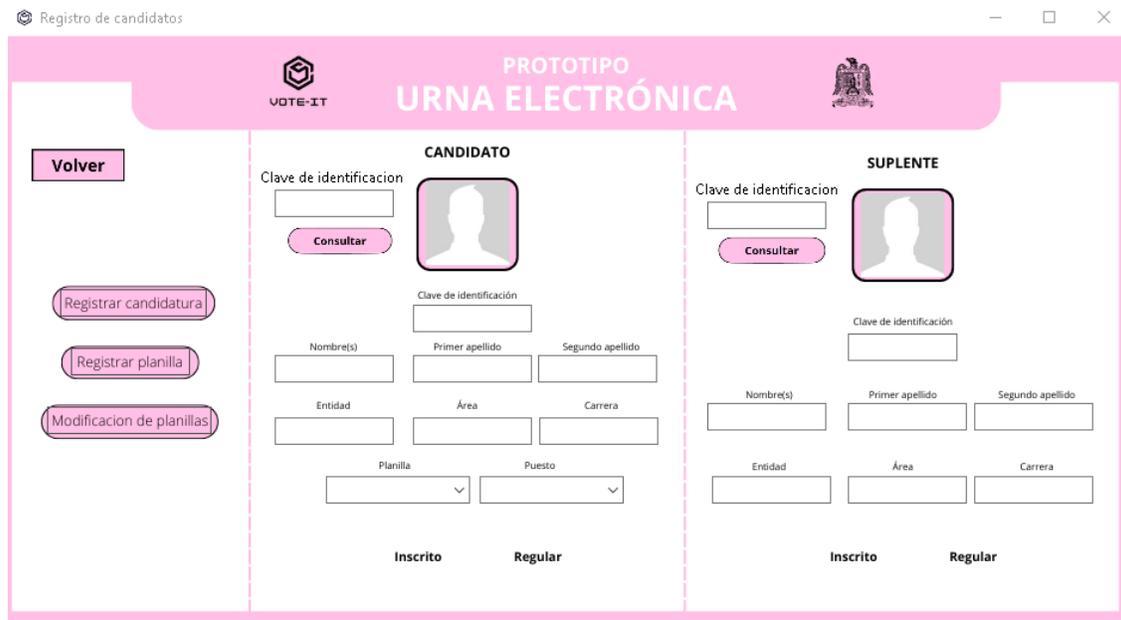


Fig. 6 Registro de candidatos.

### G. Seguridad

La principal característica criptográfica implementada para la protección de la información es el cifrado de unidades BitLocker de Windows. Este tipo de cifrado se integra con el sistema operativo para la protección de los datos en caso de robo del equipo. La unidad de almacenamiento del sistema operativo y toda la información contenida en ella se cifra completamente (Data At Rest Encryption), siendo necesario introducir una llave criptográfica por medio de una memoria USB antes de acceder a la unidad de cómputo.

BitLocker se utiliza en conjunto con un chip TPM, un microcontrolador dedicado exclusivamente a cumplir funciones criptográficas. Este chip valida la integridad de los archivos de arranque y del sistema antes de decodificar una unidad que haya sido encriptada, utilizando AES con llave de 256 bits [8]. Similarmente, en la base de datos se utilizó encriptación AES para proteger los datos mientras el equipo está en operación.

### G. Sincronización con el servidor

Una vez terminado el proceso de votación, y habiendo trasladado las urnas a un espacio controlado, cada urna se conecta con el servidor en una red local aislada. Los datos se sincronizan con el servidor, en el cual se concentran todos los datos de la votación.

## III. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema adecuado para realizar procesos de votación de representantes estudiantiles en entornos académicos, con características que protegen la información y permiten realizar el proceso de votación con confiabilidad. En la Fig. 7 se muestra el prototipo construido.

Este proyecto se llevó a cabo en un curso llamado Proyecto Integrador, que consiste en el diseño y desarrollo de un prototipo. Al finalizar el curso se realiza una evaluación en la cual participan 3 docentes, y se realiza una encuesta en la cual los estudiantes valoran su desempeño. En base a los resultados, se valoran las competencias de los estudiantes (student outcomes) definidas por la Comisión de Acreditación de Ingeniería de ABET [9], en una escala de 1 a 4. Las valoraciones más altas se obtuvieron en: a) la capacidad para adaptarse en el trabajo de equipos multidisciplinarios, cuyos miembros en conjunto proveen liderazgo, creando un ambiente colaborativo e inclusivo, establecer metas, planificar tareas y cumplir objetivos, con un puntaje de 3.55; b) la capacidad para reconocer la responsabilidad ética y profesional en situaciones de ingeniería, además de hacer juicios documentados, que consideren el impacto de las soluciones de ingeniería en el contexto global, económico, ambiental y social, con 3.22 de puntaje, y c) la capacidad para diseñar y conducir experimentos, así como analizar e interpretar información, y usar un juicio ingenieril para llegar a conclusiones, con un puntaje de 3.22.



Fig.7 Prototipo construido.

En entornos académicos donde se fomenta la integración de los conocimientos de ingeniería en prototipos funcionales, el principal resultado es el desarrollo de competencias de los estudiantes. Estas competencias no son solamente técnicas, sino también competencias que permiten un mejor desempeño profesional. Otro resultado importante es el desarrollo de equipos basados en tecnología que pueden ser utilizados en situaciones reales. Esto constituye un ejemplo del desarrollo tecnológico como una manera de mejorar la educación de los estudiantes.

## REFERENCIAS

- [1] History, Art & Archives, U.S. House of Representatives (s.f.). Electronic Voting. <https://history.house.gov/Exhibitions-and-Publications/Electronic-Technology/Electronic-Voting/>
- [2] Instituto Nacional Electoral (2021, 5 febrero). Urna electrónica utilizada por el INE en procesos electorales muestra altos niveles de confianza. Central Electoral. <https://centralectoral.ine.mx/2021/02/05/urna-electronica-utilizada-por-el-ine-en-procesos-electorales-muestra-altos-niveles-de-confianza/>
- [3] Instituto Estatal Electoral de Aguascalientes. (2022, 21 de abril). Presentan urna electrónica para elección de gobernadora en Aguascalientes. <https://www.ieeags.mx/boletines/23/presentan-urna-electronica-para-eleccion-de-gobernadora-en-aguascalientes/>
- [4] Election Systems & Software. (s.f.). ExpressVote. <https://www.essvote.com/products/expressvote/>
- [5] Comisión Estatal Electoral de Nuevo León. (s.f.). Concursos nacionales de urna electrónica y vía remota. Recuperado 16 de agosto de 2022, de <https://www.ceenl.mx/VE2022/>
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica ENADID 2018. Principales resultados. Recuperado 7 de diciembre de 2022, de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enadid/2018/doc/resultados\\_enadid18.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enadid/2018/doc/resultados_enadid18.pdf)
- [7] Banco de México. (2021, junio). Guía para la accesibilidad en sucursales bancarias y cajeros automáticos. Recuperado 7 de diciembre de 2022, de

- <https://www.banxico.org.mx/billetes-y-monedas/estudios-e-indicadores/%7B6E79147F-0B25-CE9A-1166-54B34E2BB03D%7D.pdf>
- [8] Microsoft. (2022b, noviembre 23). Configuración del algoritmo de cifrado de BitLocker para dispositivos Autopilot. Microsoft Learn. <https://learn.microsoft.com/es-es/mem/autopilot/bitlocker>
- [9] ABET. (2021). Criteria for accrediting engineering programs. Recuperado el 15 de mayo de 2023, de <https://www.abet.org/accreditation/accreditation-criteria/criteria-for-accrediting-engineering-programs-2022-2023/>