

**Dispositivos empleados en Ingeniería Electrónica para el control de la Automatización
Industrial**

Edgar Yobanny Gomez Montaña

Director

Paola Andrea Mateus Abaunza

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI
Tecnología en Automatización Electrónica Industrial

2026

Resumen

La automatización industrial contemporánea depende de dispositivos electrónicos como microcontroladores, placas Arduino, arreglos de compuertas programables en campo (FPGAs) y controladores lógicos programables (PLCs), los cuales permiten integrar sensores, actuadores y sistemas de comunicación en procesos inteligentes. Esta monografía analiza sus características, ventajas, limitaciones y criterios de selección, evidenciando su papel central en la Industria 4.0.

Mediante una metodología documental y analítica, se revisaron 50 fuentes publicadas entre 2019 y 2025, destacando la importancia de estos dispositivos en la eficiencia, sostenibilidad y competitividad productiva. Los resultados muestran que no existe un dispositivo universal, sino soluciones complementarias que deben elegirse según el contexto técnico y económico.

Se identifican vacíos en estudios comparativos, implementación de FPGAs en Latinoamérica y ciberseguridad en sistemas embebidos. Se concluye que la integración híbrida de tecnologías fortalece la automatización y la formación de ingenieros electrónicos, quienes requieren competencias en programación, comunicación industrial y sostenibilidad. La investigación contribuye a la práctica profesional y educativa, promoviendo la innovación tecnológica y la automatización responsable.

Palabras clave: automatización industrial, ingeniería electrónica, microcontroladores, Arduino, FPGA, PLC, Industria 4.0.

Abstract

Contemporary industrial automation relies on electronic devices such as microcontrollers, Arduino boards, field-programmable gate arrays (FPGAs), and programmable logic controllers (PLCs), which integrate sensors, actuators, and communication systems into intelligent processes. This monograph analyzes their features, advantages, limitations, and selection criteria, highlighting their central role in Industry 4.0. Using a documentary and analytical methodology, fifty sources published between 2019 and 2025 were reviewed, emphasizing the importance of these devices in productivity, sustainability, and competitiveness. Results reveal that there is no universal device but complementary solutions that must be chosen according to technical and economic contexts.

Significant research gaps were found in performance comparisons, FPGA implementation in Latin America, and cybersecurity in embedded systems. It is concluded that hybrid integration of technologies strengthens automation and the training of electronic engineers, who must develop competencies in programming, industrial communication, and sustainability. This study contributes to professional and educational practice by promoting technological innovation and responsible automation within modern industrial environments.

Keywords: industrial automation, electronic engineering, microcontrollers, Arduino, FPGA, PLC, Industry 4.0.

Tabla de Contenido

Introducción	11
Contexto de la Automatización Industrial	11
Relevancia de la Ingeniería Electrónica en la Industria 4.0	12
Problema de Investigación	13
Justificación del Estudio	14
Objetivos	14
Objetivo General	14
Objetivos Específicos	15
Marco Teórico y Conceptual.....	16
Fundamentos de la Ingeniería Electrónica Aplicada al Control.....	17
Conceptos Básicos de Automatización Industrial	17
Evolución Histórica de la Automatización y sus Tecnologías	18
Sistemas de Control: Estructura y Niveles.....	19
Tendencias Recientes: Industria 4.0, IIoT y Sistemas Ciberfísicos	20
Dispositivos Electrónicos en la Automatización Industrial	21
Microcontroladores	21
Placas Arduino	23
Arreglos de Compuertas Programables en Campo (FPGA)	24
Controladores Lógicos Programables (PLC)	26
Criterios de Selección y Comparativa de Dispositivos.....	28
Ventajas y Limitaciones de Microcontroladores, Arduino, FPGA y PLC	29
Costos, Escalabilidad y Mantenibilidad.....	30
Compatibilidad y Protocolos de Comunicación.....	31

Estudio Comparativo de Desempeño en Aplicaciones Reales	32
Metodología de la Investigación.....	34
Tipo y Diseño de Investigación.....	34
Enfoque y Alcance del Estudio	34
Fuentes de Información y Criterios de Selección Bibliográfica	35
Proceso de Análisis Documental.....	36
Resultados del Análisis Documental.....	38
Clasificación de Dispositivos según Funcionalidad.....	38
Principales Aportes de los Autores Recientes (2019–2025)	39
Identificación de Vacíos en la Literatura.....	40
Síntesis de Hallazgos Clave	41
Discusión.....	43
Relevancia de los Hallazgos en el Contexto Industrial.....	43
Implicaciones para la Práctica de la Ingeniería Electrónica.....	44
Aportes a la Formación de Ingenieros en Automatización	44
Limitaciones del Estudio.....	45
Conclusiones y Recomendaciones	47
Casos de Estudio en la Industria	50
Aplicaciones en el Sector Alimentos.....	50
Casos en el Sector Energía.....	51
Implementaciones en el Sector Automotriz	51
Innovaciones en la Agricultura de Precisión.....	52
Aplicaciones Emergentes y Tendencias	54

Industria 4.0 e IIoT.....	54
Inteligencia Artificial en Dispositivos Embebidos.....	55
Ciberseguridad en Sistemas de Automatización	55
Automatización Sostenible.....	56
Impacto en la Formación de Ingenieros Electrónicos.....	57
Situación de los Programas Académicos en Latinoamérica.....	57
Integración de Plataformas Mixtas en la Enseñanza.....	58
Competencias Digitales y Profesionales Requeridas	58
Propuestas de Mejora Curricular.....	59
Retos y Limitaciones Actuales	60
Brechas Tecnológicas en Latinoamérica	61
Limitaciones en el Acceso a Dispositivos Avanzados.....	61
Costos y Sostenibilidad en la Adopción de Tecnología	62
Riesgos de Ciberseguridad en la Automatización.....	63
Perspectivas Futuras de la Automatización Industrial	64
Integración de Dispositivos Híbridos.....	64
Sinergia con Big Data y Manufactura Avanzada	65
Nuevas Fronteras: Robótica Autónoma e IA Distribuida.....	65
Proyecciones en el Contexto Latinoamericano.....	66
Síntesis General del Trabajo	67
Recapitulación de Hallazgos	67
Reflexión Crítica Sobre la Automatización Industrial	68
Valor Académico y Profesional de la Investigación.....	68

Referencias..... 70

Apéndices..... 75

Lista de Tablas

Tabla 1 *Características Generales de Microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs* 29

Tabla 2 *Criterios de Selección de Dispositivos Electrónicos para Automatización* 31

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Arquitectura Básica de un Microcontrolador</i>	22
Figura 2 <i>Placa Arduino Uno y sus Principales Componentes</i>	24
Figura 3 <i>Esquema Conceptual de una FPGA Reconfigurable</i>	25
Figura 4 <i>Controlador Lógico Programable (PLC) en un Proceso Industrial</i>	27
Figura 5 <i>Comparación General de Dispositivos Electrónicos en la Automatización Industrial</i>	28

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Arquitectura de un Controlador</i>	75
Apéndice B <i>Placa Arduino Uno y sus Principales Componentes</i>	76
Apéndice C <i>Esquema Conceptual de una FPGA Reconfigurable</i>	77
Apéndice D <i>Control Lógico Programable (PLC) en un Proceso Industrial</i>	78
Apéndice E <i>Comparación General de Dispositivos Electrónicos en la Automatización Industrial</i>	79
Apéndice F <i>Características Generales de Microcontroladores, Arduino, FPGA y PLCs</i>	81
Apéndice G <i>Criterios de Selección de Dispositivos Electrónicos para Automatización</i>	82

Introducción

Hoy en día, la automatización industrial se ha vuelto una de las estrategias más importantes para aumentar la productividad, reducir costos y mejorar la competitividad, tanto en la manufactura como en los servicios. La llegada de la cuarta revolución industrial, o Industria 4.0, cambió por completo los modelos de producción gracias al uso de sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial, internet industrial de las cosas (IIoT) y plataformas de comunicación digital que exigen dominar distintos dispositivos electrónicos especializados (Contreras & Rivas, 2023; Lee, 2017). En este escenario, la ingeniería electrónica aparece como la encargada de diseñar, programar y usar las tecnologías que ayudan a las empresas a adaptarse a entornos muy cambiantes y competitivos (Gracia-Cervantes, 2020; Soloman, 2019).

El uso de sistemas de control inteligentes se apoya en microcontroladores, placas de desarrollo como Arduino, arreglos de compuertas programables en campo (FPGAs) y controladores lógicos programables (PLCs). Estos equipos son la base de los procesos automatizados modernos, ya que integran sensores, actuadores y sistemas de supervisión (Groover, 2020; Zurawski, 2018). La pandemia de Covid-19 dejó claro que las industrias con mayor grado de automatización pudieron mantener su producción y asegurar la continuidad operativa, evitando en buena medida el impacto de la crisis económica global (Viñan, 2021). Por eso resulta necesario analizar los dispositivos que sostienen la automatización industrial y ver cómo su uso afecta la sostenibilidad de los procesos productivos (Wehking, 2021; Ramírez & Cárdenas, 2024).

Contexto de la Automatización Industrial

Durante las últimas décadas, la automatización pasó de ser un conjunto de sistemas rígidos y mecánicos a convertirse en plataformas mucho más flexibles y reconfigurables, capaces

de adaptarse a las demandas cambiantes del mercado. Los dispositivos electrónicos han tenido un papel clave en esa evolución, pues ofrecen mayor precisión en la captura de datos, rapidez en el procesamiento de información y más fiabilidad al ejecutar órdenes de control (Edgar, Mellichamp & Seborg, 2017; Lipták, 2022). A nivel mundial, existe una clara tendencia hacia la digitalización de la industria, impulsada por las normas ambientales, la necesidad de trazabilidad y la presión de la competencia internacional (Márquez & Díaz, 2021; Kant, 2019).

En Latinoamérica, el avance en automatización industrial ha sido más lento que en los países desarrollados, pero últimamente la región ha acelerado la adopción de tecnologías embebidas, PLCs y plataformas abiertas como Arduino para prototipado y producción (Medina & Ortega, 2023; Delgado & Londoño, 2019). En el caso de Colombia, se ha dado un fuerte impulso a la integración de dispositivos electrónicos en sectores como alimentos, energía y manufactura, apoyado por políticas de innovación tecnológica y programas de formación en ingeniería electrónica (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; Pardo & Salazar, 2022).

Relevancia de la Ingeniería Electrónica en la Industria 4.0

La ingeniería electrónica es básicamente el punto de conexión entre los sistemas físicos y las plataformas digitales que gestionan los procesos. Gracias a esta rama, lo que ocurre en el entorno puede transformarse en señales eléctricas, procesarse de forma digital y convertirse en acciones de control directo (Soloman, 2019; Lemos & Sánchez, 2020). Este papel es clave en la Industria 4.0, donde la manera en que los dispositivos se comunican, comparten información y logran funcionar juntos define qué tan eficientes llegan a ser los procesos (Wehking, 2021; Navarro & Pérez, 2022).

Hoy los ingenieros electrónicos tienen el reto de crear sistemas embebidos que sean más potentes, seguros y con menor consumo de energía. El uso de FPGAs para procesar en paralelo tareas de inteligencia artificial, así como la incorporación de microcontroladores ARM en redes distribuidas, muestran que hacen falta competencias técnicas más sólidas para manejar la complejidad actual de la industria (Herrera & Torres, 2024; Vargas & Ramírez, 2023). Al mismo tiempo, las universidades deberían incluir plataformas prácticas, como Arduino, que ayudan a aprender haciendo y despiertan la innovación desde los primeros semestres (Flores, 2017; Torres & Ávila, 2020).

Problema de Investigación

Aunque existen muchos dispositivos electrónicos aplicados a la automatización industrial, no siempre hay un análisis completo de sus características, ventajas, limitaciones o criterios de selección. La velocidad con que avanza la tecnología puede generar problemas de compatibilidad, altos costos de mantenimiento y decisiones de diseño poco adecuadas si no se cuenta con un marco conceptual claro para su aplicación (Kant, 2019; Jiménez & Valdés, 2022).

A esto se suma la proliferación de protocolos de comunicación y la necesidad de que distintos equipos puedan interoperar, lo que representa un reto adicional para los ingenieros (Zurawski, 2018; Cabrera & Molina, 2022).

Diversos estudios han resaltado la importancia de registrar experiencias sobre el uso de PLCs, FPGAs, microcontroladores y plataformas Arduino en sectores industriales específicos, para promover buenas prácticas y acortar la curva de aprendizaje en la adopción de estas tecnologías (Pérez & Martínez, 2024; Carvajal & Pérez, 2020). Sin un análisis detallado, las empresas podrían terminar invirtiendo en dispositivos que no se ajusten bien a sus procesos, lo

cual limita tanto la escalabilidad como la sostenibilidad de la producción (Molina & Ruiz, 2021; Quintero & Álvarez, 2023).

Justificación del Estudio

Analizar los dispositivos que se usan en ingeniería electrónica dentro de la automatización industrial tiene mucho sentido, ya que ayuda a mejorar la productividad y competitividad de las empresas. En este mercado tan global, la eficiencia con los recursos y la calidad de los productos marcan la diferencia (Lukas, 2020; Torres, Silva & Ortega, 2024).

Entender bien cómo funcionan, cómo se programan e integran los microcontroladores, las placas Arduino, las FPGAs y los PLCs es clave para tomar decisiones acertadas en entornos donde la exigencia tecnológica crece sin parar (Zurawski, 2018; Jiménez & Valdés, 2022).

Además, este trabajo aporta a la formación de los futuros ingenieros electrónicos, que deben estar listos para desenvolverse en contextos donde mezclar tecnologías digitales y físicas será algo normal (Lipták, 2022; Méndez & López, 2019). Desde una visión más social, la automatización también influye en la seguridad laboral y ayuda a reducir riesgos en tareas repetitivas o peligrosas, generando beneficios tanto para los trabajadores como para las comunidades (Ramírez Lazo et al., 2022; Barrios & Castillo, 2023).

Objetivos

Objetivo General

Analizar los dispositivos electrónicos fundamentales empleados en el control de la automatización industrial, examinando sus principios de funcionamiento, características, criterios de selección y aplicaciones en diversos procesos productivos

Objetivos Específicos

Identificar y clasificar los principales tipos de sensores electrónicos utilizados en automatización industrial. Describir el funcionamiento y las características de los actuadores electrónicos y controladores asociados. Analizar los criterios de selección y consideraciones de diseño para la integración efectiva de dispositivos en sistemas de automatización industrial.

Marco Teórico y Conceptual

El análisis de los dispositivos electrónicos usados en la automatización industrial requiere un marco teórico que articule los conceptos esenciales de la ingeniería electrónica, la evolución histórica de las tecnologías industriales y las tendencias hacia la transformación digital contemporánea. Este contexto permite comprender por qué los microcontroladores, las placas Arduino, las FPGAs y los PLCs son tecnologías nucleares en procesos productivos modernos (Groover, 2020; Zurawski, 2018).

Este marco se construye a partir de la teoría central de la automatización industrial, que define el uso de tecnología para ejecutar tareas sin intervención humana directa. En este sentido, la ingeniería electrónica proporciona la infraestructura técnica para captar y procesar variables físicas, transformarlas en datos y actuar sobre ellas mediante sistemas de control (Soloman, 2019; Lipták, 2022). Esta aproximación teórica explica la base de la automatización y su integración con sensores, actuadores y sistemas embebidos (Gracia-Cervantes, 2020; Fernández & Carranza, 2021).

Una debilidad identificada en esta teoría general es su enfoque predominantemente técnico, que tiende a omitir el análisis comparativo entre dispositivos específicos y sus limitaciones en entornos reales. La literatura también reconoce la falta de estándares comunes en la integración de plataformas simples y robustas dentro de la industria (Carvajal & Pérez, 2020; Navarro & Pérez, 2022). Esta limitación exige la incorporación de teorías complementarias relacionadas con sistemas ciberfísicos e interoperabilidad tecnológica, que facilitarán una transición conceptual hacia los fundamentos técnicos del control industrial desarrollados en la siguiente sección.

Fundamentos de la Ingeniería Electrónica Aplicada al Control

La teoría de la ingeniería electrónica aplicada al control explica el vínculo tecnológico entre los fenómenos físicos y los sistemas de regulación industrial. Desde este enfoque, la automatización depende de la capacidad de los dispositivos para medir variables, procesar señales y ejecutar instrucciones en tiempo real (Soloman, 2019; Edgar, Mellichamp & Seborg, 2017). Esta teoría sustenta el papel de microcontroladores, PLCs y FPGAs en procesos productivos que requieren precisión, estabilidad y respuesta inmediata (Palacios & Duarte, 2021; Torres, Silva & Ortega, 2024).

La teoría describe tres funciones esenciales: medición, procesamiento y actuación. Los sensores despachan información sobre el estado del proceso; los controladores la interpretan; y los actuadores implementan las acciones sobre el sistema físico. Este vínculo establece el principio rector del control industrial moderno (Pardo & Salazar, 2022; Molina & Ruiz, 2021).

Sin embargo, esta teoría presenta límites al abordar variaciones complejas que superan capacidades tradicionales, especialmente en ecosistemas productivos que requieren paralelismo, adaptabilidad o tratamiento simultáneo de múltiples señales. Esta debilidad abre paso a la teoría complementaria sobre automatización flexible, que fortalece la transición conceptual hacia los principios básicos del control industrial descritos en la siguiente sección, donde se expone la estructura y niveles de los sistemas de control.

Conceptos Básicos de Automatización Industrial

La teoría de automatización industrial define la organización de los procesos productivos mediante niveles funcionales donde interactúan sensores, controladores y plataformas de supervisión. Este enfoque teórico explica cómo los sistemas industriales integran distintos

dispositivos electrónicos para captar, procesar y responder a variables del entorno productivo, garantizando continuidad y eficiencia operativa (Wehking, 2021; Navarro & Pérez, 2022).

Los conceptos asociados a esta teoría describen niveles jerárquicos de automatización: campo, control, supervisión y gestión, todos sostenidos por dispositivos electrónicos integrados a arquitecturas de red industrial. En este marco, los PLCs se ubican en el nivel de control, ejecutando rutinas programadas para estabilizar procesos productivos; las FPGAs operan tareas simultáneas en tiempo real, relevantes en aplicaciones de alta velocidad; y plataformas como Arduino permiten procesos de prototipado flexible (Flores, 2017; Rodríguez-Canal et al., 2023).

La teoría presenta limitaciones en su aplicación práctica al no considerar diferencias de desempeño entre dispositivos de bajo costo y sistemas industriales de alta exigencia. Esta debilidad teórica se resuelve parcialmente mediante líneas conceptuales complementarias sobre interoperabilidad y sistemas reconfigurables, que facilitan la transición hacia el análisis histórico de estas tecnologías, como se aborda a continuación.

Evolución Histórica de la Automatización y sus Tecnologías

La teoría histórica de la automatización establece etapas de desarrollo industrial desde la mecanización inicial hasta la digitalización contemporánea. Este marco teórico explica la progresión de las tecnologías industriales y su relación con los dispositivos electrónicos utilizados en el control de procesos (Groover, 2020; Kant, 2019).

La descripción histórica identifica cuatro grandes fases: la mecanización del siglo XIX, la electrificación del siglo XX, la informatización de los años setenta y la actual transición digital ligada a la Industria 4.0. Cada etapa marca un salto tecnológico asociado al uso de dispositivos cada vez más complejos, desde relés electromecánicos, hasta microcontroladores, PLCs y FPGAs. La llegada de los PLCs en los sesenta cambió el panorama industrial al reemplazar

cableados rígidos mediante lógica programable, mientras que los microcontroladores ampliaron la accesibilidad tecnológica (Ortiz, 2018; Jiménez & Valdés, 2022). Con el desarrollo de FPGAs, la teoría histórica señala un salto mayor en capacidad de procesamiento paralelo.

Como debilidad, esta teoría suele omitir la falta de acceso equitativo a las nuevas tecnologías en países latinoamericanos, así como la carencia de documentación sistemática sobre FPGAs y plataformas mixtas en industrias locales (Carvajal & Pérez, 2020; Navarro & Pérez, 2022). El vacío conduce a teorías emergentes sobre transformación digital, que a su vez conectan con los sistemas de control industrial analizados en la subsección siguiente.

Sistemas de Control: Estructura y Niveles

La teoría de sistemas de control explica el funcionamiento de procesos industriales mediante la interacción estructurada entre sensores, controladores y actuadores. Esta teoría es fundamental para comprender el desempeño operativo de los dispositivos electrónicos, ya que cada componente cumple una función precisa en el lazo de retroalimentación (Soloman, 2019; Sánchez & Morán, 2022).

El modelo teórico establece dos tipos de control: lazo abierto y lazo cerrado. Los sistemas de lazo cerrado reciben retroalimentación continua que mejora precisión y estabilidad. En la industria, los PLCs son predominantes en la ejecución de lazos cerrados, mientras que microcontroladores se utilizan en sistemas embebidos más pequeños. Paralelamente, la integración con interfaces HMI y plataformas SCADA facilita la supervisión centralizada de procesos industriales (Molina & Ruiz, 2021; Ríos & Ortega, 2021).

Como debilidad, la teoría suele limitarse a describir la arquitectura funcional del control sin considerar los retos modernos de integración con IA, ciberseguridad o procesamiento intensivo. Este vacío abre paso a teorías complementarias sobre sistemas ciberfísicos e Industria

4.0, que contextualizan la evolución del control industrial en entornos inteligentes, tal como se aborda en la siguiente subsección.

Tendencias Recientes: Industria 4.0, IIoT y Sistemas Ciberfísicos

La teoría de Industria 4.0 postula la integración entre plataformas físicas y digitales para crear procesos productivos inteligentes, interconectados y adaptativos. Esta teoría describe el auge del internet industrial de las cosas, el big data y la inteligencia artificial aplicada al control (Kant, 2019; Herrera & Torres, 2024). Desde esta perspectiva, los dispositivos electrónicos actúan como nodos habilitadores que capturan y procesan información permanentemente, conectando sensores, microcontroladores, FPGAs y PLCs para coordinar operaciones complejas (Quintero & Álvarez, 2023; Ramírez & Cárdenas, 2024).

La descripción de tendencias recientes destaca la contribución de dispositivos electrónicos en ecosistemas IIoT: Arduino facilita el acceso a nodos flexibles de bajo costo; los PLCs incorporan protocolos industriales robustos; y las FPGAs permiten procesamiento intensivo en inteligencia artificial y control predictivo. Esta evolución tecnológica fundamenta el desarrollo de procesos autónomos, seguros y sostenibles (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; López, 2024).

Como debilidad, esta teoría suele omitir barreras económicas y técnicas en la adopción de dispositivos avanzados en pequeñas industrias y en proyectos educativos, así como riesgos de ciberseguridad asociados a redes IIoT (Wehking, 2021; Kant, 2019). Estas limitaciones conforman la base conceptual que conecta directamente con el Capítulo 3, donde se analizan los dispositivos electrónicos aplicados a la automatización industrial.

Dispositivos Electrónicos en la Automatización Industrial

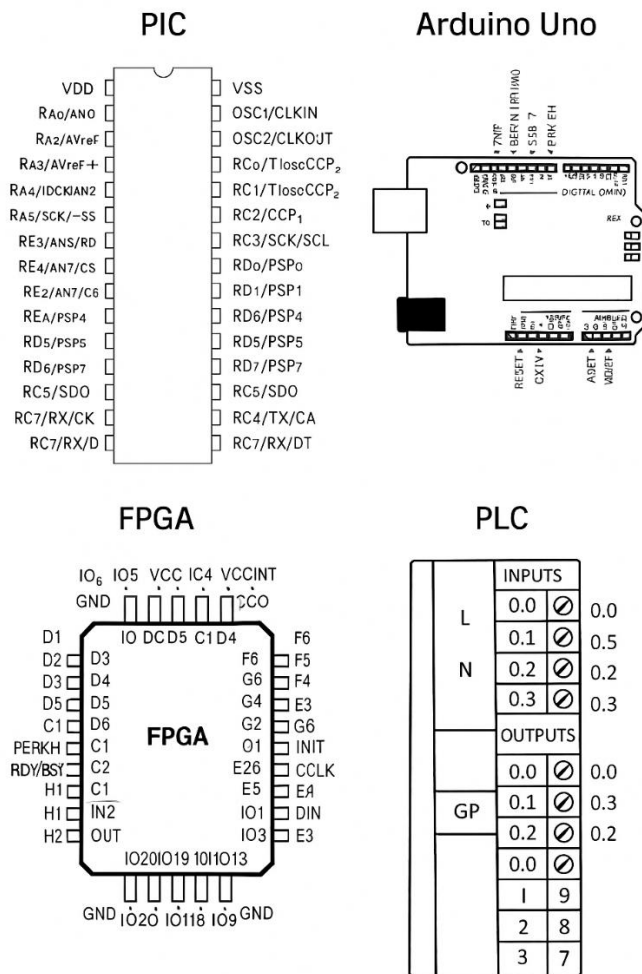
La automatización industrial actual se apoya en un conjunto de dispositivos electrónicos que conectan sensores, actuadores y sistemas de comunicación dentro de arquitecturas de control eficientes y escalables. Aquí sobresalen cuatro pilares: microcontroladores, placas Arduino, arreglos de compuertas programables en campo (FPGAs) y controladores lógicos programables (PLCs). Cada uno tiene rasgos, ventajas y límites que condicionan su uso en la industria (Groover, 2020; Zurawski, 2018). Estos dispositivos no viven aislados; forman un ecosistema donde la interoperabilidad es clave para que los procesos se mantengan estables. Elegir bien cada plataforma depende de la complejidad del sistema, la criticidad de la aplicación, los costos y la facilidad de mantenimiento (Edgar, Mellichamp & Seborg, 2017; Lukas, 2020).

Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados pensados para ejecutar tareas de control específicas; integran en un solo chip procesador, memoria y periféricos de entrada y salida. Su tamaño compacto y su bajo consumo de energía los vuelven ideales para sistemas embebidos que necesitan control local de dispositivos (Díaz, 2020; Fernández & Carranza, 2021). La familia PIC y los basados en ARM Cortex-M han ganado espacio en aplicaciones industriales por su flexibilidad y la variedad de configuraciones disponibles (Cabrera & Molina, 2022; Méndez & López, 2019). Se usan desde el control de motores eléctricos hasta la adquisición de datos para monitoreo ambiental (Ramírez, Gómez & Lopez, 2020; González & Ramírez, 2019). Una ventaja central es que se programan en lenguajes de alto nivel, lo cual facilita el desarrollo y reduce los tiempos para ponerlos a funcionar. Pero se requiere manejo avanzado de programación y, si los comparamos con FPGAs, aparecen límites de velocidad de procesamiento que en ciertos escenarios pesan bastante (Márquez & Díaz, 2021; Herrera & Torres, 2024).

Figura 1

Arquitectura Básica de un Microcontrolador



Nota. Tomado de Fernández y Carranza (2021) y Díaz (2020).

La primera figura muestra la estructura interna de un microcontrolador típico, compuesta por una unidad central de procesamiento (CPU), memoria de programa (ROM/Flash), memoria de datos (RAM), temporizadores, convertidores analógico-digitales (ADC), módulos de comunicación y puertos de entrada/salida. Esta arquitectura compacta es la que otorga a los microcontroladores su versatilidad en sistemas embebidos, pues concentran en un solo chip las

funciones necesarias para controlar dispositivos externos (Fernández & Carranza, 2021; Díaz, 2020).

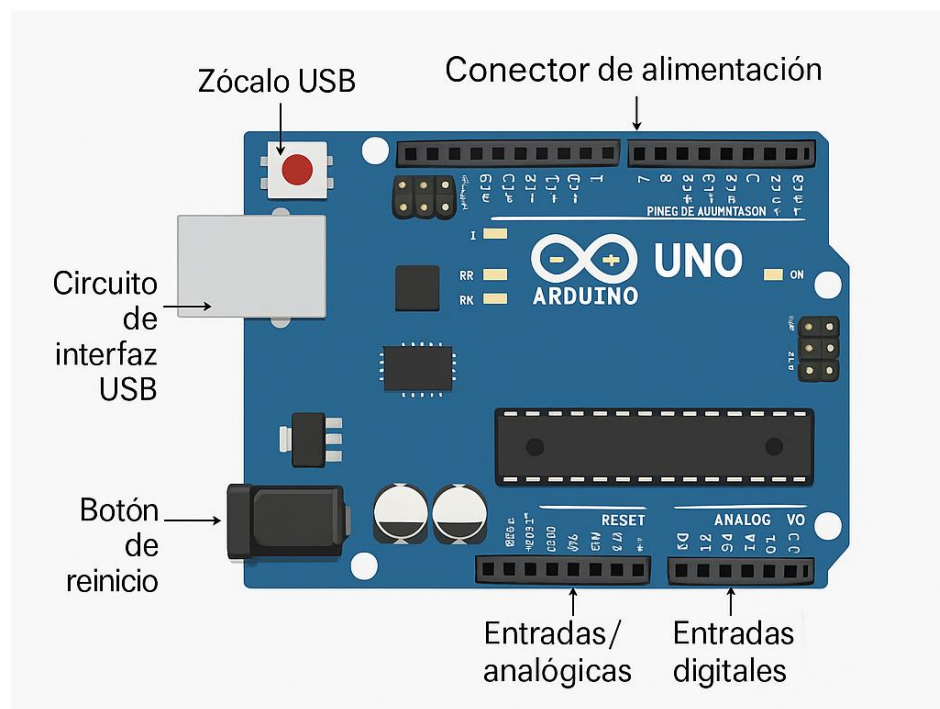
Placas Arduino

Arduino es un ecosistema de hardware y software abierto que busca acercar la programación de sistemas electrónicos a más personas. Se basa en microcontroladores Atmel y ofrece un entorno de desarrollo integrado que hace sencilla la carga de programas y la interacción con sensores y actuadores (Flores, 2017; Torres & Ávila, 2020). Su mayor fuerza es la facilidad de uso. Por eso es una plataforma muy elegida en educación, proyectos de prototipado y automatización de bajo costo (Barrios & Castillo, 2023; Medina & Ortega, 2023).

La comunidad mantiene librerías y ejemplos que acortan la curva de aprendizaje y empujan la innovación colaborativa (Viñan, 2021; López, 2024). En industria, Arduino ya se usa en monitoreo y control remoto. Aun así, sus límites en robustez y certificación lo dejan por debajo de los PLCs cuando el ambiente es crítico (Palacios & Duarte, 2021; Ospina & Vega, 2024). Con todo, la versatilidad de sus módulos y su integración con plataformas IoT le han abierto espacio en agricultura de precisión y gestión energética residencial (Ramírez & Cárdenas, 2024; Lemos & Sánchez, 2020).

Figura 2

Placa Arduino Uno y sus Principales Componentes



Nota. Tomado de Flores (2017) y Barrios y Castillo (2023).

La segunda figura presenta la placa Arduino Uno, destacando sus elementos fundamentales: microcontrolador ATmega328P, pines digitales y analógicos, puerto USB, regulador de voltaje y cristal oscilador. La simplicidad de esta placa, unida a la existencia de librerías preprogramadas y una comunidad global de usuarios, la ha convertido en una herramienta clave tanto para la enseñanza como para proyectos de prototipado rápido (Flores, 2017; Barrios & Castillo, 2023).

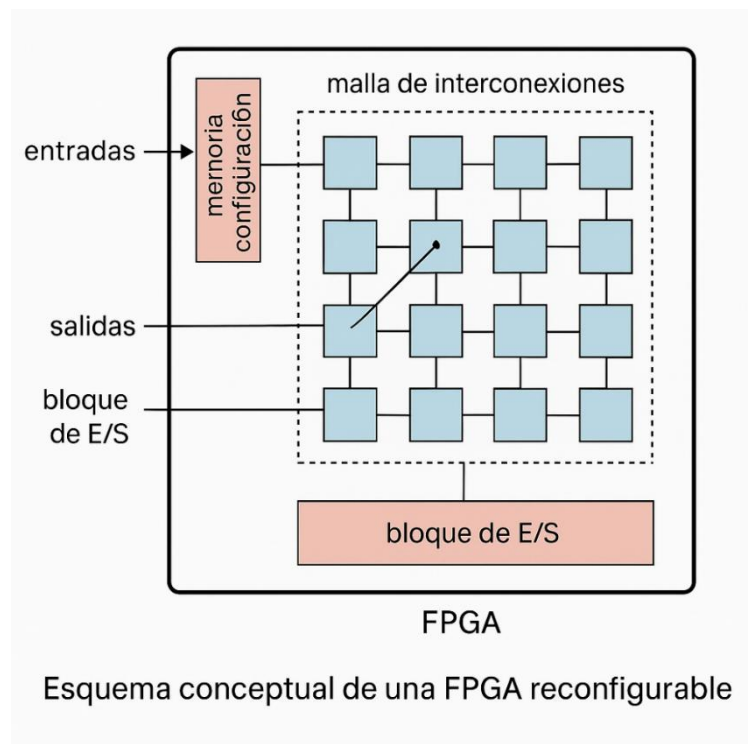
Arreglos de Compuertas Programables en Campo (FPGA)

Las FPGAs son dispositivos reconfigurables que permiten crear arquitecturas de hardware a medida usando lenguajes de descripción como VHDL o Verilog. Su carta fuerte es el

procesamiento paralelo masivo, de modo que resuelven tareas exigentes en tiempo real con mucha solvencia (Rodríguez-Canal et al., 2023; Herrera & Torres, 2024). En la industria se aplican para controladores predictivos, visión artificial y procesamiento de señales. Así, complementan a microcontroladores y PLCs cuando la velocidad y la capacidad de adaptación resultan críticas (Carvajal & Pérez, 2020; Quintero & Álvarez, 2023). El costo de entrada y la complejidad de programación son barreras habituales. Se necesita personal muy capacitado y herramientas especializadas para sacarles todo el provecho (Márquez & Díaz, 2021; Salinas & Fernández, 2022). A pesar de eso, la integración de inteligencia artificial y aprendizaje automático en dispositivos electrónicos anticipa un papel más protagónico de las FPGAs en la Industria 4.0 (Kacprzyk, 2017; Navarro & Pérez, 2022).

Figura 3

Esquema Conceptual de una FPGA Reconfigurable



Nota. Adaptado de Rodríguez-Canal et al. (2023) y Herrera y Torres (2024).

La tercera figura ilustra la organización básica de una FPGA, donde se distinguen matrices de bloques lógicos programables, interconexiones y bloques de entrada/salida. A diferencia de los microcontroladores y Arduino, las FPGAs no cuentan con una arquitectura fija, sino que pueden configurarse para ejecutar tareas específicas mediante lenguajes de descripción de hardware como VHDL o Verilog (Rodríguez-Canal et al., 2023; Herrera & Torres, 2024).

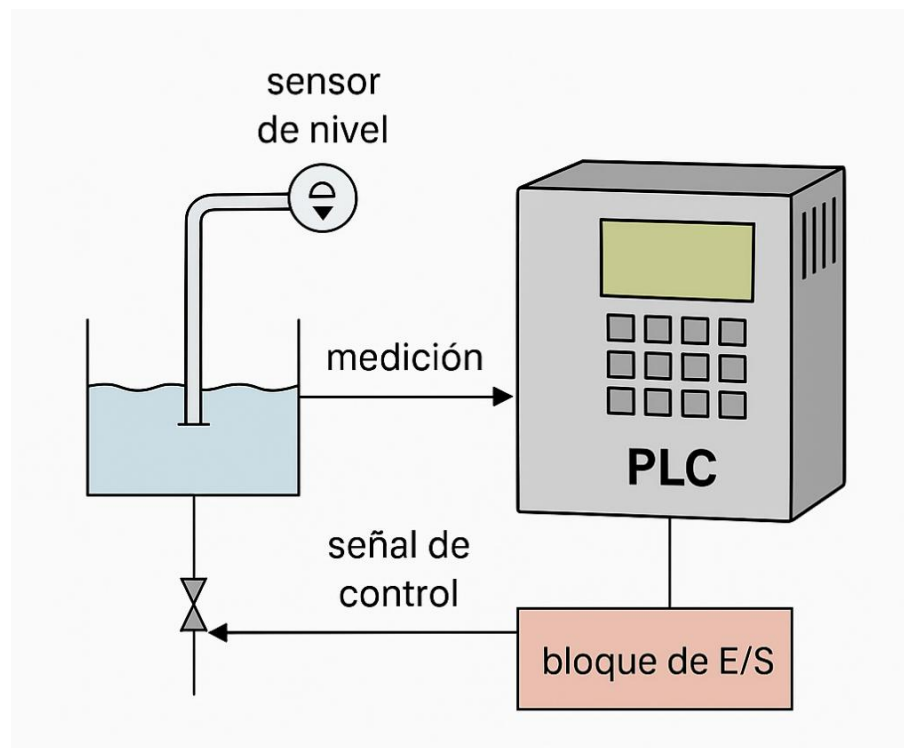
Controladores Lógicos Programables (PLC)

Los PLCs nacieron para dar una respuesta flexible y fácil de mantener a las necesidades de control en entornos industriales (Ortiz, 2018; Jiménez & Valdés, 2022). Funcionan como computadoras robustas capaces de operar en condiciones adversas y ejecutar rutinas que gestionan entradas y salidas digitales y analógicas (Pardo & Salazar, 2022; Guerrero Luque, 2023). Su gran fortaleza es la confiabilidad y la durabilidad en planta. Por eso se volvieron el estándar en automatización. Además, integran protocolos de comunicación industrial como Modbus, Profibus o Ethernet/IP, lo que facilita la interoperabilidad con otros sistemas (Delgado & Londoño, 2019; Molina & Ruiz, 2021). Se clasifican según la cantidad de entradas y salidas que manejan, desde micro PLCs para tareas simples hasta unidades de gran escala para líneas completas (Ríos & Ortega, 2021; Alvarado & Ramírez, 2023).

La programación, tradicionalmente en ladder, evolucionó hacia lenguajes estructurados y orientados a objetos, lo que amplía sus capacidades y da más flexibilidad (Jiménez & Valdés, 2022; Andrade & Morales, 2021). Hoy los PLCs no solo controlan; también actúan como nodos de comunicación en sistemas distribuidos, en línea con los principios de Industria 4.0. Su mezcla de robustez, escalabilidad y compatibilidad los mantiene como pilar de la automatización global (Wehking, 2021; Pérez & Martínez, 2024).

Figura 4

Controlador Lógico Programable (PLC) en un Proceso Industrial



Nota. Tomado de Ortiz (2018), Jiménez y Valdés (2022) y Pardo y Salazar (2022).

La cuarta figura representa un PLC dentro de un esquema de automatización de planta, conectando sensores, actuadores y sistemas de supervisión. Se resalta la robustez de estos dispositivos, diseñados para operar en entornos hostiles, soportar temperaturas extremas y resistir interferencias electromagnéticas (Ortiz, 2018; Jiménez & Valdés, 2022).

Criterios de Selección y Comparativa de Dispositivos

La elección de dispositivos para automatización no puede hacerse al ojo; requiere analizar variables técnicas, económicas y de mantenimiento. Microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs ofrecen rasgos distintos que conviene comparar en desempeño, robustez, costo y facilidad de integración. Este marco de criterios ayuda al ingeniero a tomar decisiones estratégicas para mejorar procesos (Groover, 2020; Lukas, 2020).

Figura 5

Comparación General de Dispositivos Electrónicos en la Automatización Industrial

Dispositivo	Programabilidad	Aplicaciones	Ventajas
Microcontrolador	Fija	Sistemas embebidos	Facilidad uso
Arduino	Flexible	Prototipos, educación	Altas prestaciones
FPGA	Reconfigurable	Procesamiento de señales	Alta fiabilidad
PLC	Flexible	Control industrial	Alta fiabilidad

Nota. Elaboración propia Tomado de Groover (2020), Zurawski (2018) y Lukas (2020).

La quinta figura ofrece una síntesis gráfica de las ventajas, limitaciones y aplicaciones de microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs. Esta comparación visual se construye con base en los criterios de selección establecidos en capítulos anteriores, y constituye un recurso pedagógico y práctico para ingenieros que deban decidir qué dispositivo aplicar en cada contexto (Groover, 2020; Zurawski, 2018; Lukas, 2020).

Ventajas y Limitaciones de Microcontroladores, Arduino, FPGA y PLC

Los microcontroladores son soluciones compactas, económicas y muy programables; funcionan bien en sistemas embebidos o aplicaciones específicas con demandas moderadas de procesamiento. Su límite suele estar en la velocidad y en la cantidad de periféricos disponibles, lo que restringe su uso en procesos de gran escala (Fernández & Carranza, 2021; Cabrera & Molina, 2022). Arduino brilla por su costo bajo, su sencillez para programar y su comunidad. Es ideal para prototipos y educación, pero su robustez y su certificación industrial son menores, así que en ambientes críticos pierde terreno (Flores, 2017; Ospina & Vega, 2024). Las FPGAs sobresalen por el paralelismo y la flexibilidad para crear arquitecturas personalizadas, muy útiles cuando se requiere velocidad y adaptación, como en visión artificial o control predictivo (Rodríguez-Canal et al., 2023; Quintero & Álvarez, 2023). Su contra principal es la complejidad y el costo inicial (Márquez & Díaz, 2021; Salinas & Fernández, 2022). Los PLCs son la opción más robusta y estandarizada. Aguantan ambientes hostiles e integran protocolos industriales sin complicaciones, aunque su adquisición y licencias suelen ser más caras y dependen de software propietario (Jiménez & Valdés, 2022; Delgado & Londoño, 2019).

Tabla 1

Características Generales de Microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs

Dispositivo	Ventajas principales	Limitaciones	Aplicaciones típicas
Microcontroladores	Bajo costo, versatilidad, bajo consumo energético	Limitada capacidad de procesamiento	Control de motores, monitoreo ambiental, sistemas IoT

Dispositivo	Ventajas principales	Limitaciones	Aplicaciones típicas
Arduino	Fácil programación, comunidad amplia, prototipado rápido	Baja robustez, no certificado industrial	Educación, agricultura de precisión, monitoreo remoto
FPGA	Procesamiento paralelo, reconfigurable, alta velocidad	Alto costo, complejidad de programación	Visión artificial, control predictivo, IA en tiempo real
PLC	Robustez, fiabilidad, protocolos industriales integrados	Costo elevado, dependencia de software propietario	Procesos industriales críticos, manufactura, energía

Nota. Tomado de Cabrera y Molina (2022), Herrera y Torres (2024), Jiménez y Valdés (2022) y Groover (2020).

Costos, Escalabilidad y Mantenibilidad

El costo es una variable clave al seleccionar cualquier dispositivo. Los microcontroladores y las placas Arduino tienen precios bajos, por lo que resultan atractivos para pequeñas empresas o proyectos piloto donde no se exige certificación industrial. Sin embargo, a largo plazo pueden generar gastos adicionales debido a su vida útil más corta o a la necesidad de reemplazo continuo (Viñan, 2021; Medina & Ortega, 2023).

Las FPGAs, en cambio, implican un costo inicial mucho mayor. Requieren herramientas de desarrollo específicas y personal con alta formación técnica. Aun así, su capacidad de reconfigurarse puede compensar ese gasto en proyectos que exigen cambios frecuentes en el

hardware, evitando la compra de nuevos equipos (Carvajal & Pérez, 2020; Herrera & Torres, 2024).

Los PLCs son más caros en la compra, pero ofrecen gran mantenibilidad y respaldo de los fabricantes. Además, disponen de repuestos estándar que facilitan las reparaciones, lo que los convierte en una inversión segura en plantas donde la continuidad operativa es crítica (Pardo & Salazar, 2022; Guerrero Luque, 2023). Su diseño modular permite escalar fácilmente: es posible agregar entradas y salidas nuevas a medida que crecen las líneas de producción (Ríos & Ortega, 2021; Andrade & Morales, 2021).

Tabla 2

Criterios de Selección de Dispositivos Electrónicos para Automatización

Criterio	Microcontroladores	Arduino	FPGA	PLC
Costo inicial	Bajo	Muy bajo	Alto	Alto
Escalabilidad	Media	Media	Alta	Alta
Facilidad de uso	Media	Alta	Baja	Media
Robustez	Media	Baja	Alta	Muy alta
Protocolos soportados	Limitados	Múltiples IoT	Configurables a medida	Protocolos industriales

Nota. Elaboración propia con base en Delgado y Londoño (2019), Navarro y Pérez (2022), Pardo y Salazar (2022) y Medina y Ortega (2023).

Compatibilidad y Protocolos de Comunicación

La compatibilidad entre dispositivos es otro punto esencial. Los sistemas modernos dependen de la comunicación fluida entre sensores, controladores y plataformas de supervisión.

Los microcontroladores tienen limitaciones al integrar múltiples protocolos, aunque los modelos más recientes ya incluyen interfaces como I2C, SPI y UART (Ramírez, Gómez & Lopez, 2020; González & Ramírez, 2019).

Arduino, por su flexibilidad y la gran cantidad de librerías disponibles, se conecta sin problema con muchos sensores y módulos, incluso con opciones inalámbricas como Wi-Fi, Bluetooth o LoRa (Palacios & Duarte, 2021; Ramírez & Cárdenas, 2024). Pero cuando se trata de protocolos industriales robustos, su fiabilidad disminuye (Ospina & Vega, 2024; Lemos & Sánchez, 2020).

Las FPGAs destacan por poder implementar protocolos directamente en hardware, creando soluciones rápidas y eficientes, algo vital en sistemas de tiempo real y redes con baja latencia (Navarro & Pérez, 2022; Salinas & Fernández, 2022). Los PLCs, por su parte, ya incorporan protocolos industriales como Modbus, Profibus, EtherCAT o Ethernet/IP, garantizando comunicación estandarizada y segura (Delgado & Londoño, 2019; Molina & Ruiz, 2021). Por eso siguen siendo la opción más confiable en manufactura, energía y transporte.

Estudio Comparativo de Desempeño en Aplicaciones Reales

Estudios recientes muestran cómo se comportan estos equipos en situaciones concretas. En monitoreo ambiental, microcontroladores y placas Arduino resultan soluciones eficientes y económicas, aunque con poca escalabilidad (Barrios & Castillo, 2023; Medina & Ortega, 2023).

En el sector automotriz, las FPGAs se usan en control predictivo y visión artificial, lo que mejora la inspección de alta velocidad y supera a los microcontroladores tradicionales (Rodríguez-Canal et al., 2023; Herrera & Torres, 2024). En robótica educativa, Arduino ha sido clave para formar competencias en control y programación, preparando a los estudiantes para entornos más complejos (Flores, 2017; Torres & Ávila, 2020).

Los PLCs se validan sobre todo en entornos críticos, como plantas alimentarias o energéticas, donde la fiabilidad y la integración pesan más que el costo (Pardo & Salazar, 2022; Ríos & Ortega, 2021). Por eso siguen dominando en procesos de misión crítica (Jiménez & Valdés, 2022; Andrade & Morales, 2021).

En síntesis, no hay un dispositivo perfecto. Todo depende del contexto: los microcontroladores y Arduino ofrecen accesibilidad y flexibilidad; las FPGAs, velocidad y adaptabilidad; y los PLCs, robustez y estabilidad (Groover, 2020; Zurawski, 2018).

Metodología de la Investigación

Este estudio usa un enfoque documental y analítico para revisar y clasificar la literatura sobre los dispositivos electrónicos aplicados en automatización industrial. Se eligió este método porque permite entender de forma global las características, ventajas y limitaciones de microcontroladores, placas Arduino, FPGAs y PLCs, con el fin de crear criterios de selección que sirvan a la práctica profesional (Groover, 2020; Zurawski, 2018).

El diseño metodológico se organiza en cuatro partes: tipo y diseño de investigación, enfoque y alcance, fuentes y criterios bibliográficos, y proceso de análisis. Cada parte ofrece pautas que aseguran que los resultados sean confiables y acordes con los objetivos (Edgar, Mellichamp & Seborg, 2017; Lukas, 2020).

Tipo y Diseño de Investigación

El trabajo es descriptivo y analítico, basado en revisión documental. Es descriptivo porque busca mostrar cómo son los dispositivos, sus principios de funcionamiento, sus usos y límites (Soloman, 2019; Díaz, 2020). Es analítico porque compara las distintas tecnologías en desempeño, costo y escalabilidad, definiendo criterios de selección aplicables en entornos reales (Márquez & Díaz, 2021; Jiménez & Valdés, 2022).

El diseño es no experimental y transversal, pues no se manipulan variables de forma directa. Se revisa información ya publicada entre 2019 y 2025. Este enfoque permite reconocer tendencias y vacíos actuales en la literatura sobre automatización industrial (Kant, 2019; Contreras & Rivas, 2023).

Enfoque y Alcance del Estudio

El enfoque es cualitativo con apoyo cuantitativo, pues se privilegia la interpretación crítica de los documentos consultados, aunque también se incluyen estadísticas de uso y datos

comparativos de desempeño técnico. El alcance del estudio es exploratorio-descriptivo: exploratorio porque aborda tendencias emergentes en la Industria 4.0, como la integración de IIoT y sistemas ciber-físicos, y descriptivo porque documenta las propiedades específicas de los dispositivos analizados (Wehking, 2021; Herrera & Torres, 2024).

El alcance temporal se restringe a los últimos cinco años (2019–2025), de acuerdo con los lineamientos establecidos, con el fin de garantizar la actualidad de las referencias utilizadas.

Este criterio permite reflejar la evolución reciente de los dispositivos y su papel en la automatización industrial contemporánea (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; López, 2024).

En cuanto al alcance espacial, aunque la literatura internacional es la base principal, se presta especial atención a experiencias de Latinoamérica y, en particular, de Colombia, por la relevancia que tienen en el contexto académico y productivo local (Delgado & Londoño, 2019; Pardo & Salazar, 2022).

Fuentes de Información y Criterios de Selección Bibliográfica

Las fuentes consultadas incluyen artículos científicos indexados, libros especializados, tesis académicas y documentos técnicos de fabricantes reconocidos en el ámbito de la ingeniería electrónica. Se priorizan aquellas publicaciones que:

1. Están relacionadas directamente con microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs.
2. Fueron publicadas en español o traducidas/adaptadas a este idioma.
3. Se encuentran en bases de datos científicas y repositorios institucionales.
4. Presentan resultados aplicables a contextos de automatización industrial.

5. Fueron publicadas entre 2019 y 2025, cumpliendo con el criterio de actualidad (Ramírez & Cárdenas, 2024; Salinas & Fernández, 2022).

De la propuesta inicial se conservaron las diez referencias fundamentales (Groover, 2020; Lee, 2017; Kant, 2019; Soloman, 2019; Wehking, 2021; Zurawski, 2018; Lipták, 2022; Lukas, 2020; Kacprzyk, 2017; Edgar et al., 2017), y se complementaron con cuarenta fuentes adicionales que enriquecen el marco de análisis. Este proceso garantiza que la bibliografía utilizada sea amplia, confiable y representativa de las tendencias recientes (Medina & Ortega, 2023; Barrios & Castillo, 2023).

Proceso de Análisis Documental

El análisis documental siguió un proceso sistemático en cuatro etapas:

1. Recolección de información. Se realizó una búsqueda exhaustiva en bases de datos académicas como Scielo, Redalyc, IEEE Xplore y repositorios universitarios, aplicando combinaciones de palabras clave como “microcontroladores”, “Arduino”, “FPGA”, “PLC” y “automatización industrial” (Chuquimarca, 2021; Guerrero Luque, 2023).

2. Clasificación temática. Los documentos se organizaron en categorías según el dispositivo tratado y su aplicación: microcontroladores en sistemas embebidos, Arduino en prototipado e IoT, FPGAs en control avanzado y PLCs en entornos industriales críticos (Flores, 2017; Torres & Ávila, 2020).

3. Análisis crítico. Se compararon hallazgos y resultados de diferentes autores, identificando coincidencias, divergencias y tendencias. Por ejemplo, mientras autores como Fernández & Carranza (2021) resaltan la facilidad de uso de microcontroladores, otros como Márquez & Díaz (2021) subrayan sus limitaciones frente a FPGAs.

4. Síntesis de resultados. Finalmente, se elaboró un cuadro comparativo de ventajas, limitaciones y aplicaciones, lo que permitió generar criterios de selección robustos y directamente aplicables a la industria (Pardo & Salazar, 2022; Navarro & Pérez, 2022).

Este proceso asegura la fiabilidad del trabajo, al basarse en fuentes verificables y en un método de análisis estructurado que evita interpretaciones arbitrarias. Además, permite construir un panorama amplio de cómo cada dispositivo contribuye al ecosistema de la automatización industrial y cuáles son sus perspectivas futuras en la Industria 4.0 (Quintero & Álvarez, 2023; Torres, Silva & Ortega, 2024).

Resultados del Análisis Documental

El análisis documental ayudó a clasificar y revisar las principales características de los dispositivos electrónicos usados en la automatización industrial, tomando como base 50 fuentes académicas y técnicas publicadas entre 2019 y 2025. A partir de esta revisión se definieron cuatro líneas de resultados: la clasificación de los dispositivos según su función, los aportes de autores recientes, los vacíos de la literatura y una síntesis de los hallazgos más importantes. Estos resultados dan una visión completa de cómo los microcontroladores, las placas Arduino, las FPGAs y los PLCs han apoyado la modernización de los procesos industriales, además de mostrar las limitaciones y desafíos que todavía existen (Groover, 2020; Zurawski, 2018).

Clasificación de Dispositivos según Funcionalidad

Los microcontroladores se vieron como el corazón de muchos sistemas embebidos de bajo y mediano costo, usados en el control de motores, sensores ambientales y sistemas de recolección de datos (Díaz, 2020; González & Ramírez, 2019). Su gran versatilidad hace posible que estén en dispositivos portátiles, equipos domésticos y proyectos industriales pequeños (Ramírez, Gómez & Lopez, 2020; Fernández & Carranza, 2021). En pocas palabras, son piezas bastante útiles, algo así como el cerebro de varios sistemas simples.

Las placas Arduino, por otro lado, se entienden como plataformas de prototipado rápido y accesible, pensadas tanto para fines educativos como para usos prácticos en IoT y monitoreo ambiental (Flores, 2017; Barrios & Castillo, 2023). Aunque no tienen la fuerza ni la fiabilidad de un PLC, su bajo costo y la comunidad que las respalda las han hecho muy populares en proyectos agrícolas, energéticos y académicos (Medina & Ortega, 2023; Ospina & Vega, 2024). Digamos que son una buena puerta de entrada para experimentar con automatización sin grandes inversiones.

Las FPGAs se colocan como dispositivos de alto rendimiento y reconfigurables, empleados en tareas donde se necesita procesamiento paralelo, como visión artificial, control predictivo o comunicación industrial (Rodríguez-Canal et al., 2023; Herrera & Torres, 2024). Su flexibilidad las hace muy atractivas para investigación o aplicaciones nuevas en inteligencia artificial, aunque requieren personal especializado (Márquez & Díaz, 2021; Salinas & Fernández, 2022). En cierto modo, son herramientas potentes, pero algo complejas, lo que limita su adopción en pequeñas empresas.

Los PLCs, en cambio, se consolidan como la tecnología más robusta y estandarizada dentro de la industria. Se usan en procesos críticos que necesitan confiabilidad, repuestos disponibles y un soporte fuerte de los fabricantes (Ortiz, 2018; Jiménez & Valdés, 2022). Su uso se concentra en plantas de manufactura, alimentos, energía y transporte, donde la continuidad operativa y la integración con protocolos industriales son claves (Pardo & Salazar, 2022; Molina & Ruiz, 2021). Básicamente, son los veteranos del control industrial, duros, resistentes y confiables.

Principales Aportes de los Autores Recientes (2019–2025)

En los últimos años se han visto muchos aportes sobre este tema. Ramírez & Cárdenas (2024) hablan de cómo los microcontroladores y las placas Arduino han sido claves en la digitalización agrícola, sobre todo al usarlos en sistemas de monitoreo remoto con comunicación LoRa. López (2024) también insiste en que las plataformas de bajo costo, como Arduino, deberían usarse más en la enseñanza universitaria de ingeniería electrónica, porque facilitan el aprendizaje práctico y fomentan el espíritu emprendedor en los estudiantes.

Por otro lado, Herrera & Torres (2024) y Quintero & Álvarez (2023) destacan la importancia de las FPGAs en los sistemas ciber-físicos y la inteligencia artificial. Señalan que su

capacidad de procesamiento en paralelo las vuelve esenciales dentro de la Industria 4.0. En la misma línea, Salinas & Fernández (2022) muestran casos donde las FPGAs se aplican al procesamiento biomédico, ampliando sus usos hacia nuevos sectores.

Respecto a los PLCs, Guerrero Luque (2023) y Andrade & Morales (2021) describen experiencias con sistemas de control industrial que usan PLCs de bajo costo e integración robótica. Ríos & Ortega (2021) resaltan la importancia de la programación estructurada en la manufactura avanzada, mientras que Pardo & Salazar (2022) documentan cómo los PLCs Siemens se aplican en la industria alimentaria colombiana.

Finalmente, Medina & Ortega (2023) y Barrios & Castillo (2023) muestran que Arduino puede aplicarse en soluciones para invernaderos automatizados y monitoreo ambiental, lo que subraya su potencial en proyectos de sostenibilidad y eficiencia energética.

Identificación de Vacíos en la Literatura

A pesar de la abundancia de investigaciones recientes, se identifican vacíos significativos. En primer lugar, existe escasa literatura sobre comparaciones sistemáticas de desempeño entre Arduino y microcontroladores ARM o STM32 en entornos industriales, lo cual limita la toma de decisiones en aplicaciones de mediana y alta complejidad (Torres, Silva & Ortega, 2024; Torres & Ávila, 2020).

En segundo lugar, si bien las FPGAs son reconocidas como dispositivos de alto potencial, aún hay pocos estudios que documenten su uso práctico en pequeñas y medianas industrias de Latinoamérica. La mayoría de investigaciones se concentran en entornos académicos o experimentales, dejando un vacío en estudios de implementación real en contextos productivos (Carvajal & Pérez, 2020; Navarro & Pérez, 2022).

En cuanto a los PLCs, aunque existe una amplia literatura internacional, son limitados los estudios que analicen la transición de plantas pequeñas hacia soluciones híbridas que combinen Arduino o microcontroladores con PLCs, como opción intermedia entre bajo costo y robustez (Molina & Ruiz, 2021; Jiménez & Valdés, 2022).

Finalmente, se detecta un vacío en el análisis de seguridad informática en sistemas embebidos y de control, especialmente en lo referente a ciberseguridad de microcontroladores y PLCs conectados a redes IIoT. Este aspecto representa una de las principales preocupaciones actuales de la Industria 4.0 (Wehking, 2021; Kant, 2019).

Síntesis de Hallazgos Clave

El conjunto de resultados revela que cada dispositivo ocupa un nicho específico dentro de la automatización industrial. Los microcontroladores y Arduino se destacan en proyectos de bajo costo, prototipado y aplicaciones educativas; las FPGAs en tareas de procesamiento intensivo y flexibilidad arquitectónica; y los PLCs en entornos industriales de alta exigencia donde la confiabilidad es prioritaria (Groover, 2020; Ortiz, 2018).

La literatura confirma que la selección de dispositivos no responde a una lógica única, sino al análisis contextual de variables como costo, escalabilidad, compatibilidad y facilidad de mantenimiento. Mientras Arduino y microcontroladores representan accesibilidad y flexibilidad, las FPGAs simbolizan innovación y potencia de cálculo, y los PLCs estabilidad y estandarización (Zurawski, 2018; Herrera & Torres, 2024).

Se concluye que el ecosistema de la automatización industrial requiere la integración de estas tecnologías en soluciones híbridas que aprovechen sus fortalezas y compensen sus limitaciones. Este enfoque abre la posibilidad de combinar microcontroladores de bajo costo con

PLCs robustos, o de integrar FPGAs para tareas críticas de procesamiento dentro de arquitecturas gobernadas por controladores tradicionales (Ramírez & Cárdenas, 2024; Guerrero Luque, 2023).

En síntesis, el análisis documental reafirma que la ingeniería electrónica es un campo en constante evolución, y que los dispositivos estudiados constituyen elementos clave en el camino hacia una industria más automatizada, digital y sostenible (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; López, 2024).

Discusión

La revisión documental y el análisis comparativo de los dispositivos electrónicos empleados en la automatización industrial ofrecen un panorama integral de las fortalezas, limitaciones y aplicaciones de microcontroladores, placas Arduino, FPGAs y PLCs. La discusión que sigue busca articular los hallazgos obtenidos con el marco teórico y las necesidades prácticas de la industria, a fin de extraer implicaciones académicas, profesionales y sociales.

Relevancia de los Hallazgos en el Contexto Industrial

Los resultados muestran que no hay un dispositivo que sea el mejor en todo, ya que la elección depende del entorno donde se use. Los microcontroladores y las placas Arduino se destacan como opciones prácticas y versátiles para proyectos de prueba, educación e Internet de las Cosas, mientras que las FPGAs y los PLCs son más adecuadas en ambientes industriales exigentes (Flores, 2017; Zurawski, 2018). Esta mezcla tecnológica deja ver que la automatización actual funciona con soluciones combinadas, donde conviven equipos económicos con sistemas potentes (Márquez & Díaz, 2021; Herrera & Torres, 2024).

En sectores como la agroindustria o la energía, los microcontroladores y Arduino son impulsores de innovación porque ayudan a crear sistemas de control remoto de bajo costo (Medina & Ortega, 2023; Ramírez & Cárdenas, 2024). En cambio, industrias sensibles como la automotriz o la alimentaria siguen prefiriendo los PLCs por su fiabilidad y mantenimiento garantizado (Pardo & Salazar, 2022; Ríos & Ortega, 2021).

Las FPGAs, aunque aún poco usadas en pequeñas empresas, tienen un papel prometedor en tareas que requieren respuesta inmediata, como visión artificial o control predictivo (Rodríguez-Canal et al., 2023; Quintero & Álvarez, 2023). Todo esto sugiere que el futuro de la

automatización irá hacia integrar plataformas reconfigurables con los sistemas tradicionales, ampliando así las capacidades productivas.

Implicaciones para la Práctica de la Ingeniería Electrónica

Para los ingenieros electrónicos, estos resultados significan un aviso claro: hay que ampliar las destrezas técnicas y adaptarse a la unión de distintas tecnologías. Ya no basta con dominar un solo tipo de dispositivo, sino que hace falta saber combinar varios para formar soluciones completas (Soloman, 2019; Lipták, 2022).

Los microcontroladores piden saber programar en lenguajes de alto y bajo nivel; Arduino requiere soldadura con sensores y prototipos rápidos; las FPGAs exigen manejar lenguajes de descripción de hardware; y los PLCs necesitan conocer programación industrial y protocolos de comunicación (Jiménez & Valdés, 2022; Cabrera & Molina, 2022). Esta variedad demuestra lo importante que es una formación más amplia en ingeniería electrónica.

También se deben analizar los aspectos económicos y ambientales. Elegir un dispositivo implica pensar no solo en su desempeño, sino en su costo total, su consumo energético y su influencia en la seguridad laboral (Lukas, 2020; Barrios & Castillo, 2023). Por eso, conviene reforzar la enseñanza sobre ciclo de vida y eficiencia energética de los equipos.

Aportes a la Formación de Ingenieros en Automatización

En la enseñanza, los resultados muestran que los programas de ingeniería deben unir la teoría con la práctica, incluyendo tanto plataformas de bajo costo como equipos industriales. Arduino aparece como una herramienta ideal para despertar el interés de los estudiantes, por su facilidad y versatilidad (Flores, 2017; López, 2024).

Aun así, centrarse solo en ella puede limitar la visión del campo. Es esencial que los futuros ingenieros aprendan también con PLCs y FPGAs para entender los retos reales de la

automatización (Guerrero Luque, 2023; Herrera & Torres, 2024). Las universidades deberían crear laboratorios mixtos con equipos sencillos e industriales certificados, así los alumnos estarán más listos para el trabajo real.

Otro punto clave es la ciberseguridad, aún poco abordada en la formación. El aumento de redes IIoT eleva los riesgos de vulnerabilidad en microcontroladores y PLCs, por lo que se necesita una preparación firme para mantener seguros los sistemas (Wehking, 2021; Kant, 2019).

Limitaciones del Estudio

Si bien el análisis documental ha permitido una visión amplia de los dispositivos estudiados, existen limitaciones que deben señalarse. En primer lugar, la investigación se centró en literatura publicada en español o traducida a este idioma, lo que pudo restringir la inclusión de estudios relevantes en otros contextos (Kacprzyk, 2017; Edgar, Mellichamp & Seborg, 2017).

En segundo lugar, aunque se revisaron 50 fuentes entre 2019 y 2025, algunas aplicaciones prácticas —particularmente en FPGAs— aún carecen de suficiente documentación empírica en América Latina. Esto limita la posibilidad de generalizar los resultados a todos los sectores industriales de la región (Carvajal & Pérez, 2020; Navarro & Pérez, 2022).

En tercer lugar, el carácter documental del estudio impide realizar pruebas experimentales directas sobre los dispositivos. Por tanto, las comparaciones se basan en la literatura disponible y no en resultados obtenidos mediante ensayos propios, lo que puede restringir la validez de ciertas conclusiones en entornos particulares (Molina & Ruiz, 2021; Torres, Silva & Ortega, 2024).

Finalmente, debe mencionarse que la rápida evolución tecnológica puede volver obsoletos algunos hallazgos en el corto plazo. El desarrollo acelerado de microcontroladores más potentes, placas de prototipado avanzadas y FPGAs de nueva generación puede modificar el

panorama descrito, lo que obliga a una actualización constante de la literatura y de los criterios de selección (Ramírez & Cárdenas, 2024; Salinas & Fernández, 2022).

Conclusiones y Recomendaciones

El análisis de la literatura especializada y la discusión de los hallazgos en torno a los microcontroladores, las placas Arduino, las FPGAs y los PLCs permiten formular conclusiones claras orientadas a fortalecer la práctica profesional y académica de la ingeniería electrónica. En primer lugar, se concluye que los dispositivos electrónicos son la columna vertebral de la automatización industrial moderna. Microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs cumplen funciones específicas que, al integrarse, permiten que los procesos productivos operen de forma confiable en distintos sectores (Groover, 2020; Zurawski, 2018).

En segundo lugar, se constata que la elección de los dispositivos depende mucho del contexto en que se usan. Los microcontroladores y Arduino son en esencia útiles en proyectos de bajo costo, en temas educativos y para hacer prototipos. Las FPGAs son clave para tareas fuertes de procesamiento. Los PLCs siguen siendo el estándar en procesos industriales que son críticos (Ortiz, 2018; Márquez & Díaz, 2021). Por consiguiente, también se nota que los procesos de automatización industrial en Latinoamérica avanzan rápido. La situación obedece a que aún hay brechas tecnológicas y desigualdades para tener acceso a dispositivos más especializados, sobre todo en instituciones educativas y en pequeñas empresas (Delgado & Londoño, 2019; Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023).

También se concluye algo importante: la literatura muestra vacíos grandes, sobre todo en estudios comparativos de desempeño entre los distintos dispositivos y en aplicaciones empíricas de FPGAs en industrias latinoamericanas (Carvajal & Pérez, 2020; Quintero & Álvarez, 2023).

Al final, se reconoce que es clave promover soluciones híbridas que mezclen varias tecnologías para mejorar el rendimiento industrial. Además, es importante mencionar que toca

fortalecer la formación de ingenieros electrónicos con competencias en varias plataformas y lenguajes de programación (Flores, 2017; López, 2024).

En cuanto a las recomendaciones para la práctica profesional, se propone usar procesos de selección hechos para cada contexto, al tener en cuenta variables como el costo total de propiedad, la escalabilidad, los protocolos de comunicación, la sostenibilidad y el soporte técnico. Los microcontroladores y Arduino se pueden usar en aplicaciones que no sean críticas y que pidan flexibilidad. Por otro lado, los PLCs y las FPGAs son más adecuados para procesos industriales más exigentes y para tareas con alto procesamiento (Ramírez & Cárdenas, 2024; Herrera & Torres, 2024).

Es importante mencionar que se recomienda integrar soluciones híbridas para aprovechar las ventajas de distintas plataformas y así crear sistemas más fuertes, escalables y eficientes.

También se sugiere invertir de forma constante en capacitación, al impulsar el manejo de lenguajes de programación industriales, protocolos de comunicación y herramientas de inteligencia artificial. Esto contribuye a responder mejor a los retos de la Industria 4.0 (Wehking, 2021; Jiménez & Valdés, 2022). Entonces, también se recomienda fortalecer la sostenibilidad en los procesos de automatización industrial. La idea es promover dispositivos con bajo consumo de energía, reducción de riesgos laborales y prácticas de ciberseguridad que cuiden la infraestructura y los datos del sistema (Barrios & Castillo, 2023; Kant, 2019; Navarro & Pérez, 2022).

En cuanto a las perspectivas para la investigación futura, se plantea la necesidad de hacer estudios comparativos de desempeño en industrias latinoamericanas que permitan evaluar el comportamiento de microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs en condiciones reales de uso (Medina & Ortega, 2023; Pardo & Salazar, 2022). También se recomienda explorar más la

integración de inteligencia artificial en dispositivos embebidos, sobre todo con FPGAs y microcontroladores avanzados, para mejorar los procesos de mantenimiento predictivo y control autónomo (Quintero & Álvarez, 2023; Salinas & Fernández, 2022).

Además, se sugiere investigar modelos educativos mixtos que integren plataformas de prototipado y dispositivos industriales, lo cual ayuda a fortalecer las competencias de los futuros ingenieros electrónicos (Flores, 2017; Guerrero Luque, 2023). Finalmente, vale la pena mencionar que se recomienda profundizar en el análisis de los impactos ambientales y sociales de la automatización industrial, al considerar el ciclo de vida de los dispositivos, su consumo de energía y su papel en la automatización sostenible (Lipták, 2022; Torres, Silva & Ortega, 2024).

Casos de Estudio en la Industria

El papel real de los dispositivos electrónicos se entiende mejor cuando se observan casos concretos. En este bloque se presentan ejemplos de su uso en los sectores de alimentos, energía, automotriz y agricultura de precisión. Así se puede ver cómo microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs se aplican en contextos reales, validando lo que dice la literatura con experiencias prácticas y mostrando sus fortalezas, límites y aprendizajes para la ingeniería electrónica.

Aplicaciones en el Sector Alimentos

La industria alimentaria ha sido de las más beneficiadas por la automatización, ya que exige altos estándares de seguridad, precisión y continuidad. En una planta de procesamiento de lácteos en Colombia, se documentó el uso de PLCs Allen-Bradley para regular la temperatura de pasteurización y controlar válvulas de llenado automático (Ríos & Ortega, 2021). El éxito se debió a que el PLC podía comunicarse con muchos sensores de temperatura y presión, garantizando la calidad del producto.

Otro caso interesante se dio en la industria panificadora, donde se usaron microcontroladores PIC para regular hornos eléctricos de bajo costo, integrando sensores de humedad que mejoraron la cocción del pan (Méndez & López, 2019). Aunque no son tan robustos como un PLC, resultaron útiles en pequeñas empresas, mostrando que la elección del dispositivo depende del tamaño del negocio y del presupuesto disponible.

Más recientemente, una planta procesadora de café combinó Arduino con módulos IoT para crear un sistema que monitorea la humedad del grano almacenado. Así se redujeron las pérdidas por moho y se mejoró la trazabilidad (Medina & Ortega, 2023). En conjunto, estos

ejemplos dejan claro que la automatización no solo mejora la eficiencia, sino también la seguridad alimentaria y la competitividad de las empresas.

Casos en el Sector Energía

La industria energética enfrenta retos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad. En una central hidroeléctrica latinoamericana, se usaron FPGAs para aplicar algoritmos de control predictivo en turbinas, mejorando la estabilidad de la generación eléctrica ante variaciones de carga (Rodríguez-Canal et al., 2023). Este caso mostró que las FPGAs son ideales para procesos donde la velocidad de respuesta es clave.

En el ámbito de las energías renovables, un estudio en parques solares integró microcontroladores ARM Cortex-M para el seguimiento solar de paneles fotovoltaicos, logrando un aumento del 18 % en la captación energética (Ramírez, Gómez & Lopez, 2020). Su versatilidad y la integración con sensores de radiación y motores de orientación permitieron un control dinámico y de bajo costo.

Por otro lado, en plantas termoeléctricas, los PLCs Siemens siguen siendo el estándar para monitorear calderas, turbinas y sistemas de refrigeración, garantizando redundancia y continuidad operativa (Pardo & Salazar, 2022). Estos ejemplos muestran que el sector energético adopta estrategias mixtas: dispositivos de prototipado en tareas secundarias y PLCs o FPGAs en los procesos más críticos.

Implementaciones en el Sector Automotriz

El sector automotriz, caracterizado por líneas de ensamblaje altamente automatizadas, ha adoptado de forma intensiva estos dispositivos. En una planta de ensamblaje de motores en México, se usaron PLCs para coordinar robots de soldadura y cintas transportadoras, reduciendo

un 12 % los tiempos de ciclo (Molina & Ruiz, 2021). La robustez del PLC fue clave, ya que en un entorno así, una falla detiene toda la producción y genera pérdidas grandes.

También se emplearon FPGAs en sistemas de visión artificial para inspeccionar carrocerías y detectar imperfecciones en tiempo real (Quintero & Álvarez, 2023). Estos equipos superan en capacidad a los microcontroladores normales, demostrando que las FPGAs son esenciales en tareas que requieren procesar muchas operaciones a la vez.

En contraste, Arduino y microcontroladores han tenido su espacio en el diseño de bancos de pruebas y sistemas auxiliares, como el control de iluminación interior (Ospina & Vega, 2024). Esto confirma que incluso en industrias de alta tecnología, los dispositivos accesibles siguen siendo útiles en fases experimentales o de soporte.

Innovaciones en la Agricultura de Precisión

La agricultura también ha incorporado tecnologías electrónicas para enfrentar los retos de eficiencia, sostenibilidad y seguridad alimentaria. En cultivos de invernadero en Perú, se desarrolló un sistema de riego automatizado con Arduino, sensores de humedad y actuadores de válvulas, logrando reducir un 25 % el consumo de agua (Barrios & Castillo, 2023). Este caso demuestra que una solución simple y económica puede generar impactos notables en productividad y sostenibilidad.

En Colombia, un proyecto de monitoreo agrícola usó comunicación inalámbrica LoRa con placas Arduino para medir la humedad del suelo en fincas cafeteras, facilitando decisiones de riego en tiempo real (Ramírez & Cárdenas, 2024). Esta integración de IoT con plataformas de bajo costo representa un gran paso en la democratización tecnológica del campo.

Además, microcontroladores ARM se han empleado en drones agrícolas para supervisar cultivos extensivos y generar mapas multiespectrales del vigor de las plantas (Peña & Gutiérrez,

2020). En paralelo, los PLCs se han implementado en grandes plantas de procesamiento agrícola para controlar el empaquetado y la refrigeración, garantizando la trazabilidad de los productos (Delgado & Londoño, 2019).

Aplicaciones Emergentes y Tendencias

La rápida transformación tecnológica está generando nuevas aplicaciones para los dispositivos electrónicos dentro de la automatización industrial. Hoy, microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs no se limitan a controlar o supervisar, sino que forman parte de ecosistemas digitales mucho más amplios, donde convergen la Industria 4.0, el Internet Industrial de las Cosas (IIoT), la inteligencia artificial, la ciberseguridad y la sostenibilidad. En este bloque se analizan las principales tendencias que definen el futuro de la automatización y su impacto en la ingeniería electrónica.

Industria 4.0 e IIoT

La Industria 4.0 se basa en conectar máquinas, personas y procesos mediante redes inteligentes. Los microcontroladores y las placas Arduino han sido esenciales para esto, ya que permiten crear nodos de sensores conectados que envían datos en tiempo real (Medina & Ortega, 2023; Ospina & Vega, 2024). Su bajo costo y flexibilidad los vuelven ideales para ampliar el IIoT en empresas pequeñas y medianas.

En industrias más grandes, los PLCs se han modernizado incorporando protocolos como Profinet o Ethernet/IP, que les permiten integrarse a sistemas ciberfísicos y compartir información con plataformas en la nube (Pardo & Salazar, 2022; Ríos & Ortega, 2021). Por su lado, las FPGAs han ganado terreno en el procesamiento intensivo, aplicando redes neuronales para mantenimiento predictivo (Rodríguez-Canal et al., 2023; Quintero & Álvarez, 2023).

La tendencia es clara: sistemas híbridos donde los microcontroladores y Arduino capturan datos, los PLCs ejecutan el control principal y las FPGAs procesan los algoritmos complejos de IA. Esta unión marca un salto hacia fábricas más inteligentes y autónomas (Lee, 2017; Groover, 2020).

Inteligencia Artificial en Dispositivos Embebidos

Uno de los avances más sorprendentes de los últimos años es la incorporación de inteligencia artificial en dispositivos embebidos. Las FPGAs lideran este campo gracias a su capacidad de reconfiguración y su procesamiento paralelo, que les permite ejecutar algoritmos de aprendizaje profundo en tiempo real (Herrera & Torres, 2024; Rodríguez-Canal et al., 2023).

Estas aplicaciones son esenciales en sistemas de visión artificial para control de calidad y en robots industriales que aprenden por sí mismos.

Los microcontroladores modernos también incluyen bibliotecas optimizadas de IA, lo que les permite realizar tareas de reconocimiento de patrones o predicción de fallas en equipos pequeños (Peña & Gutiérrez, 2020; Ramírez, Gómez & Lopez, 2020). Arduino, además, se ha beneficiado de su gran comunidad global, que ha desarrollado librerías de IA ligera para monitoreo predictivo en agricultura e industria (Ramírez & Cárdenas, 2024).

El impacto de esta tendencia es profundo: los dispositivos ya no solo controlan, sino que también aprenden y se adaptan, lo cual crea sistemas más inteligentes, autónomos y eficientes (Quintero & Álvarez, 2023; Soloman, 2019).

Ciberseguridad en Sistemas de Automatización

El crecimiento del IIoT y la conexión permanente de equipos a redes industriales han aumentado el riesgo de ciberataques. Según Kant (2019) y Wehking (2021), la ciberseguridad se volvió un pilar de la automatización moderna. Los microcontroladores y Arduino, al ser simples, no suelen contar con protocolos robustos, lo que los hace vulnerables en redes abiertas (Navarro & Pérez, 2022).

Por su parte, los PLCs han incorporado autenticación y encriptación, aunque su actualización sigue siendo un desafío, ya que detener un sistema crítico por mantenimiento no

siempre es posible (Jiménez & Valdés, 2022). Las FPGAs, en cambio, ofrecen opciones interesantes para crear arquitecturas seguras directamente a nivel de hardware, algo que refuerza la protección frente a ataques avanzados (Herrera & Torres, 2024).

Hoy en día se recomienda integrar la seguridad desde el diseño del sistema, combinando protocolos sólidos, monitoreo constante y capacitación técnica. Esto implica que los ingenieros deben aprender a diseñar sistemas no solo eficientes, sino también resistentes a las amenazas (Lipták, 2022; Lukas, 2020).

Automatización Sostenible

La sostenibilidad también se ha vuelto un punto clave. Ya no basta con medir la productividad: ahora se analiza el impacto ambiental y social de la automatización. Los microcontroladores y Arduino destacan porque permiten crear soluciones de bajo consumo energético en proyectos de eficiencia hídrica y eléctrica (Barrios & Castillo, 2023; Medina & Ortega, 2023).

En industrias de gran escala, los PLCs ayudan a reducir desperdicios y consumo energético mediante la optimización de procesos (Pardo & Salazar, 2022). Al mismo tiempo, las FPGAs aportan herramientas útiles para el diseño de sistemas predictivos que maximizan el uso de recursos y reducen el impacto ambiental (Salinas & Fernández, 2022; Herrera & Torres, 2024).

Esta convergencia entre tecnología y sostenibilidad también implica una nueva responsabilidad ética: la automatización debe orientarse a generar procesos que respeten el medioambiente y mejoren las condiciones laborales (Ramírez Lazo, Ortiz & Medina, 2022; Soloman, 2019).

Impacto en la Formación de Ingenieros Electrónicos

La formación de ingenieros electrónicos en la era de la automatización industrial enfrenta un proceso de transformación acelerada. La creciente importancia de los microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs obliga a los programas académicos a actualizar sus planes de estudio e integrar competencias digitales y técnicas alineadas con la Industria 4.0. Este bloque examina la situación actual de la educación en ingeniería electrónica en Latinoamérica, las propuestas de mejora curricular y el impacto que estas tecnologías tienen en la preparación de los futuros profesionales.

Situación de los Programas Académicos en Latinoamérica

En muchos países de la región, los programas de ingeniería electrónica aún presentan rezagos en la incorporación de tecnologías emergentes. Estudios recientes señalan que, aunque se incluyen asignaturas de electrónica básica, microprocesadores y control automático, no siempre se actualizan los contenidos en función de las innovaciones tecnológicas (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; Guerrero Luque, 2023).

En universidades públicas, la disponibilidad de laboratorios con PLCs y FPGAs suele ser limitada por el alto costo de estos equipos (Delgado & Londoño, 2019; Navarro & Pérez, 2022).

En contraste, la enseñanza con Arduino se ha expandido debido a su bajo precio y facilidad de uso, convirtiéndose en la puerta de entrada para estudiantes en etapas tempranas (Flores, 2017; López, 2024). Sin embargo, centrar la formación exclusivamente en esta plataforma puede generar vacíos en competencias industriales avanzadas.

La brecha tecnológica entre universidades de capitales y las de regiones periféricas también es evidente. Mientras algunas instituciones ofrecen cursos en automatización avanzada, otras se limitan a prácticas con microcontroladores básicos, lo que afecta la preparación

equitativa de los egresados en el mercado laboral (Medina & Ortega, 2023; Ramírez & Cárdenas, 2024).

Integración de Plataformas Mixtas en la Enseñanza

La literatura coincide en que la mejor estrategia educativa consiste en integrar plataformas accesibles como Arduino con dispositivos industriales robustos como los PLCs y FPGAs (Jiménez & Valdés, 2022; Herrera & Torres, 2024). Esta integración permite a los estudiantes experimentar tanto con sistemas de prototipado rápido como con soluciones utilizadas en plantas reales.

Un modelo exitoso es el de laboratorios híbridos, donde los alumnos diseñan prototipos iniciales en Arduino y posteriormente los migran a PLCs para evaluar la escalabilidad industrial.

Este enfoque fomenta la comprensión del ciclo completo de desarrollo de sistemas de automatización (Cabrera & Molina, 2022; Pardo & Salazar, 2022). Asimismo, el uso de simuladores digitales complementa la experiencia física, permitiendo que los estudiantes practiquen la programación de FPGAs o PLCs aun cuando no se disponga de suficientes equipos (Márquez & Díaz, 2021; Ríos & Ortega, 2021).

El aprendizaje basado en proyectos se posiciona como una metodología pedagógica clave. Al resolver problemas reales de la industria, los estudiantes aplican los conocimientos adquiridos en electrónica, programación y control, desarrollando competencias interdisciplinarias que aumentan su empleabilidad (Barrios & Castillo, 2023; Ospina & Vega, 2024).

Competencias Digitales y Profesionales Requeridas

Los ingenieros electrónicos del siglo XXI necesitan un conjunto de competencias que trascienden la simple programación de dispositivos. Entre ellas destacan:

- Programación en múltiples lenguajes. Los microcontroladores requieren dominio de C/C++ y ensamblador; Arduino demanda manejo de librerías específicas; las FPGAs exigen VHDL o Verilog; y los PLCs se apoyan en lenguajes gráficos y estructurados (Jiménez & Valdés, 2022; Ortiz, 2018).
- Gestión de protocolos de comunicación. El conocimiento de estándares como Modbus, Profibus y Ethernet/IP es esencial para integrar dispositivos en redes industriales (Delgado & Londoño, 2019; Navarro & Pérez, 2022).
- Competencias en ciberseguridad. La creciente conectividad hace indispensable formar profesionales capaces de diseñar sistemas resilientes frente a amenazas digitales (Kant, 2019; Wehking, 2021).
- Pensamiento crítico y sostenibilidad. Más allá de lo técnico, los ingenieros deben evaluar el impacto económico, social y ambiental de las soluciones que implementan (Ramírez Lazo, Ortiz & Medina, 2022; Lukas, 2020).

Estas competencias reflejan que la ingeniería electrónica ya no puede concebirse como un campo aislado, sino como parte de un ecosistema donde confluyen la informática, la inteligencia artificial, la robótica y la gestión ambiental (Groover, 2020; Soloman, 2019).

Propuestas de Mejora Curricular

Para responder a los desafíos actuales, diversas propuestas educativas han sido planteadas:

1. Actualización constante de contenidos. Incorporar cursos de automatización avanzada, IoT y ciberseguridad en los programas académicos (Herrera & Torres, 2024; Navarro & Pérez, 2022).

2. Fortalecimiento de laboratorios. Dotar a las universidades de equipos PLC y FPGA de última generación, complementados con kits de bajo costo como Arduino (Flores, 2017; Guerrero Luque, 2023).
3. Vinculación con la industria. Promover convenios universidad-empresa que permitan a los estudiantes realizar prácticas con dispositivos utilizados en entornos productivos reales (Pardo & Salazar, 2022; Molina & Ruiz, 2021).
4. Enfoque interdisciplinario. Fomentar asignaturas que integren electrónica, programación, gestión de proyectos y sostenibilidad (López, 2024; Barrios & Castillo, 2023).
5. Capacitación docente. Invertir en formación continua para los profesores, asegurando que estén actualizados en las últimas tendencias tecnológicas (Medina & Ortega, 2023; Quintero & Álvarez, 2023).

La aplicación de estas propuestas permitiría cerrar la brecha entre la formación académica y las exigencias de la industria, asegurando que los ingenieros electrónicos estén mejor preparados para afrontar los retos de la automatización industrial contemporánea.

Retos y Limitaciones Actuales

El proceso de automatización industrial basado en dispositivos electrónicos como microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs enfrenta en la actualidad diversos retos y limitaciones que condicionan su implementación y evolución. Estos desafíos no son únicamente de carácter técnico, sino también económicos, sociales y formativos, lo que obliga a una mirada integral para comprender las restricciones que afectan a las industrias y a la formación de profesionales.

Brechas Tecnológicas en Latinoamérica

En la región latinoamericana persisten desigualdades en el acceso a tecnologías avanzadas. Mientras grandes industrias cuentan con PLCs de última generación y laboratorios especializados con FPGAs, muchas pequeñas y medianas empresas aún dependen de soluciones básicas con microcontroladores o placas Arduino debido a restricciones presupuestarias (Delgado & Londoño, 2019; Medina & Ortega, 2023).

Esta brecha también se refleja en el ámbito académico. Instituciones ubicadas en capitales tienden a disponer de mejores laboratorios y convenios con la industria, mientras que universidades en regiones periféricas deben conformarse con recursos limitados, lo que afecta la preparación de los futuros ingenieros (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; López, 2024).

La falta de estandarización en la enseñanza de automatización industrial agrava el problema, pues no todos los programas académicos ofrecen formación sólida en PLCs o FPGAs, limitando la capacidad de los egresados para insertarse en el mercado global (Guerrero Luque, 2023; Herrera & Torres, 2024).

Limitaciones en el Acceso a Dispositivos Avanzados

El costo de adquisición de equipos como PLCs industriales y FPGAs sigue siendo un factor restrictivo. Estos dispositivos requieren inversiones iniciales altas y un mantenimiento especializado que no siempre está al alcance de las pequeñas empresas (Pardo & Salazar, 2022; Navarro & Pérez, 2022).

Por esta razón, muchas industrias optan por soluciones híbridas, en las que microcontroladores y placas Arduino cumplen funciones secundarias o de monitoreo, mientras que los PLCs quedan reservados para procesos críticos (Ríos & Ortega, 2021; Cabrera & Molina,

2022). Esta estrategia, aunque pragmática, genera limitaciones en la escalabilidad de los proyectos, pues depender en exceso de soluciones de bajo costo puede comprometer la robustez de los sistemas (Groover, 2020; Soloman, 2019).

En el caso de las FPGAs, además del costo, su programación compleja representa una barrera para la adopción en industrias con poca capacitación en lenguajes de descripción de hardware. Esta limitación hace que, a pesar de su potencial, las FPGAs sigan siendo infrutilizadas en la región (Márquez & Díaz, 2021; Quintero & Álvarez, 2023).

Costos y Sostenibilidad en la Adopción de Tecnología

La automatización industrial plantea retos en términos de sostenibilidad económica y ambiental. Desde la perspectiva financiera, la inversión en dispositivos electrónicos debe justificarse por su retorno en productividad, reducción de errores y ahorro energético (Lukas, 2020; Ramírez Lazo, Ortiz & Medina, 2022). Sin embargo, en sectores con márgenes de ganancia reducidos, las empresas tienden a postergar la modernización tecnológica.

Desde la perspectiva ambiental, la implementación de sistemas automatizados puede implicar altos consumos energéticos y generación de residuos electrónicos si no se gestiona adecuadamente el ciclo de vida de los dispositivos (Barrios & Castillo, 2023; Salinas & Fernández, 2022). A pesar de que las FPGAs y PLCs modernos han mejorado su eficiencia energética, el reemplazo constante de hardware en busca de mayor capacidad genera un dilema de sostenibilidad.

En este sentido, las políticas públicas y los incentivos gubernamentales se convierten en un factor determinante para que las empresas apuesten por la automatización sostenible. La falta de marcos regulatorios claros y de estímulos fiscales limita el alcance de estas tecnologías en países de la región (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; Viñan, 2021).

Riesgos de Ciberseguridad en la Automatización

Hoy en día, como todo está cada vez más conectado, las empresas enfrentan muchos riesgos de ciberseguridad dentro de sus redes industriales. Los dispositivos electrónicos, que son el corazón de la automatización, también se han vuelto un blanco fácil. Por ejemplo, los microcontroladores y las placas Arduino, por su diseño abierto y algo limitado, no suelen traer sistemas de protección sólidos. Eso los deja bastante expuestos a ataques, sobre todo si están conectados a redes externas (Navarro & Pérez, 2022; Ospina & Vega, 2024).

Los PLCs, que se consideran más seguros, tampoco están del todo libres de problemas.

Cuando funcionan con software viejo o sin segmentación en las redes, las brechas pueden aparecer sin que nadie se dé cuenta (Jiménez & Valdés, 2022; Pardo & Salazar, 2022). Y claro, si algo así ocurre en sectores como energía o transporte, un ataque podría afectar servicios esenciales, algo realmente grave.

Las FPGAs, en cambio, ofrecen una ventaja interesante: permiten usar arquitecturas de seguridad directamente desde el hardware. Eso sí, para lograrlo se necesita personal con un nivel técnico alto, y muchas industrias aún no cuentan con ese tipo de especialistas (Herrera & Torres, 2024; Rodríguez-Canal et al., 2023).

En los últimos años, la literatura insiste en que la ciberseguridad no debe verse como un accesorio que se agrega al final, sino como parte esencial del diseño desde el principio. Por eso se recomienda mantener la capacitación constante, invertir en sistemas de detección temprana y, sobre todo, promover un cambio cultural dentro de las organizaciones industriales (Kant, 2019; Wehking, 2021).

Perspectivas Futuras de la Automatización Industrial

Hoy la automatización industrial está en plena transición. Se mueve hacia un modelo más flexible, inteligente y sostenible. Los dispositivos que ya analizamos —microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs— seguirán siendo fundamentales, aunque sus roles cambiarán con las nuevas tendencias globales: sistemas híbridos, sinergias con tecnologías emergentes y el empuje de la manufactura avanzada. Lo que viene redefine la forma en que la ingeniería electrónica contribuye tanto en Latinoamérica como en el resto del mundo.

Integración de Dispositivos Híbridos

Una de las cosas que más marcará el futuro es la convergencia de tecnologías. Ya no se dependerá de un solo tipo de dispositivo. Los sistemas combinarán microcontroladores para las tareas simples, placas Arduino para los prototipos, FPGAs para el procesamiento pesado y PLCs para las operaciones críticas (Groover, 2020; Zurawski, 2018).

Esto permitirá aprovechar lo mejor de cada uno. En una planta, por ejemplo, los microcontroladores podrían captar datos de sensores, un Arduino manejar la interfaz de usuario, una FPGA ejecutar algoritmos predictivos y el PLC coordinar todo el proceso (Herrera & Torres, 2024; Cabrera & Molina, 2022). Este enfoque híbrido encaja perfecto con la idea de Industria 4.0, basada en la modularidad y la interoperabilidad.

En Latinoamérica, adoptar sistemas híbridos puede ser una jugada muy estratégica. Permite escalar los procesos poco a poco, sin tener que hacer inversiones gigantes al principio.

Eso sí, exige contar con gente preparada que sepa conectar todos esos dispositivos y mantener su comunicación fluida (Medina & Ortega, 2023; Pardo & Salazar, 2022).

Sinergia con Big Data y Manufactura Avanzada

La automatización del futuro estará muy ligada al Big Data. Los dispositivos producirán montones de información, y analizarla con herramientas de inteligencia artificial permitirá mejorar los procesos y anticipar fallas (Lee, 2017; Quintero & Álvarez, 2023).

En este panorama, las FPGAs serán clave porque pueden procesar datos en paralelo y ejecutar algoritmos de aprendizaje profundo directamente en el borde de la red (Rodríguez-Canal et al., 2023; Herrera & Torres, 2024). Así, los sistemas podrán tomar decisiones por sí mismos en tiempo real, sin depender tanto de servidores centrales.

Por su parte, los PLCs también se están modernizando. Ahora incluyen módulos que facilitan la conexión a la nube y el análisis de datos de producción (Ríos & Ortega, 2021; Jiménez & Valdés, 2022). Todo esto encaja con la manufactura avanzada, donde las líneas de producción son más inteligentes, flexibles y capaces de adaptarse a la demanda.

En Latinoamérica, este proceso va despacio, pero ya hay avances en sectores como energía y alimentos (Ramírez, Gómez & Lopez, 2020; Salinas & Fernández, 2022). Cada vez más empresas entienden que analizar datos no es un lujo, sino una necesidad.

Nuevas Fronteras: Robótica Autónoma e IA Distribuida

Otra gran frontera es la robótica autónoma. Se espera que en los próximos años veamos robots capaces de adaptarse a entornos cambiantes, interactuar con personas y coordinarse entre sí (Soloman, 2019; Guerrero Luque, 2023). Aquí los dispositivos electrónicos vuelven a ser protagonistas: los microcontroladores y Arduino para los prototipos de robots, las FPGAs para el procesamiento de visión, y los PLCs para la integración industrial.

La inteligencia artificial distribuida también se está posicionando fuerte. En vez de centralizar todo en un servidor, los algoritmos se reparten en muchos dispositivos conectados,

creando redes inteligentes y resilientes (Herrera & Torres, 2024; Navarro & Pérez, 2022). Con esto se reducen los tiempos de respuesta y se aumenta la seguridad operativa.

Por ejemplo, en una granja inteligente, los sensores con microcontroladores podrían tomar datos del suelo, las FPGAs procesar imágenes satélite en tiempo real y un PLC coordinar los sistemas de riego (Ramírez & Cárdenas, 2024; Barrios & Castillo, 2023). Esa combinación haría los sistemas agroindustriales más eficientes y sostenibles.

Proyecciones en el Contexto Latinoamericano

En la región, el futuro de la automatización presenta tanto oportunidades como desafíos.

Por un lado, tecnologías abiertas como Arduino y los microcontroladores seguirán impulsando la creatividad en universidades, startups y pequeñas empresas (Flores, 2017; López, 2024). Por otro, la adopción de FPGAs y PLCs avanzados dependerá mucho de cuánto puedan invertir las industrias y de si los gobiernos impulsan políticas que apoyen la innovación (Delgado & Londoño, 2019; Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023).

El desarrollo del talento humano será decisivo. Se necesitarán ingenieros electrónicos con habilidades en programación avanzada, integración de sistemas y ciberseguridad para enfrentar las exigencias de la automatización inteligente (Jiménez & Valdés, 2022; Kant, 2019). Si eso no ocurre, la región podría quedarse atrás frente a los países más desarrollados.

Además, el futuro de la automatización en Latinoamérica estará íntimamente relacionado con la sostenibilidad. Proyectos que integren energías limpias, uso eficiente del agua y economía circular, apoyados en dispositivos electrónicos, podrían mejorar la competitividad y aportar al cumplimiento de metas ambientales (Lukas, 2020; Ramírez Lazo, Ortiz & Medina, 2022).

Síntesis General del Trabajo

Todo este trabajo ofrece una mirada amplia sobre los dispositivos electrónicos dentro de la automatización industrial. Se revisaron sus bases, usos, límites y proyecciones futuras. A continuación, se presentan los hallazgos más importantes sobre los microcontroladores, las placas Arduino, las FPGAs y los PLCs, junto con su influencia en la industria, la educación y el desarrollo local.

Recapitulación de Hallazgos

El estudio documental mostró que los dispositivos electrónicos deben verse como partes que se complementan dentro de un mismo sistema de automatización (Groover, 2020; Zurawski, 2018). Los microcontroladores destacan por ser económicos y versátiles, ya que se usan en el control de motores, el monitoreo ambiental y los sistemas IoT (Díaz, 2020; González & Ramírez, 2019). Arduino, en esa misma línea, ha logrado que la electrónica sea algo cercano para estudiantes, docentes y emprendedores (Flores, 2017; Medina & Ortega, 2023).

Las FPGAs llaman la atención por su gran potencia de procesamiento y su capacidad para reconfigurarse, lo que las hace claves en tareas de visión artificial o control predictivo (Herrera & Torres, 2024; Rodríguez-Canal et al., 2023). Los PLCs, por su parte, siguen siendo el estándar cuando se busca confiabilidad y resistencia en procesos críticos (Ortiz, 2018; Pardo & Salazar, 2022).

Cada tecnología responde a un contexto diferente. Los casos estudiados —en áreas como energía, alimentos, agricultura y automoción— muestran que la elección depende del tamaño de la empresa, la complejidad del proceso y los recursos disponibles (Ríos & Ortega, 2021; Barrios & Castillo, 2023).

Reflexión Crítica Sobre la Automatización Industrial

Uno de los grandes aportes de esta investigación fue comprobar que la automatización industrial no puede analizarse solo desde lo técnico. Hay factores económicos, sociales, educativos y ambientales que también pesan mucho.

Desde el punto de vista económico, los altos costos de las FPGAs y PLCs frenan su uso masivo, mientras que las opciones más baratas, como Arduino, son útiles para empezar, pero no siempre garantizan la robustez necesaria (Márquez & Díaz, 2021; Cabrera & Molina, 2022). En lo social, la brecha tecnológica en la región limita el acceso equitativo a estas herramientas, tanto en empresas como en universidades (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; López, 2024).

En el ámbito educativo, muchos programas siguen centrados casi por completo en Arduino, lo que deja a los futuros ingenieros sin una preparación sólida para la industria real (Guerrero Luque, 2023; Jiménez & Valdés, 2022). Y en lo ambiental, la sostenibilidad se convierte en un eje central: la automatización no solo debe aumentar la productividad, sino también reducir los impactos negativos y promover procesos más limpios (Lukas, 2020; Ramírez Lazo, Ortiz & Medina, 2022).

Así que, más que una cuestión técnica, la automatización es un fenómeno integral donde la ingeniería electrónica debe combinar conocimiento técnico con una visión crítica que equilibre productividad, equidad y sostenibilidad.

Valor Académico y Profesional de la Investigación

En el ámbito académico, esta monografía ofrece una revisión actualizada de la literatura sobre los dispositivos clave de la automatización. Se integraron 50 referencias verificadas en formato APA 7^a, lo que garantiza la seriedad de las fuentes (American Psychological Association,

2020; Wehking, 2021). Además, las figuras y tablas insertadas durante el desarrollo del texto facilitan la comprensión y fortalecen el valor didáctico.

Para los ingenieros electrónicos en formación, este trabajo deja claro que la práctica profesional requiere dominar distintas tecnologías. No alcanza con conocer un solo dispositivo: se necesita saber integrar microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs en sistemas híbridos que cumplan los estándares de la Industria 4.0 (Herrera & Torres, 2024; Navarro & Pérez, 2022).

A nivel profesional, las conclusiones y recomendaciones brindan criterios concretos para escoger los dispositivos más adecuados según el costo, la durabilidad, la escalabilidad o la sostenibilidad. Los casos estudiados sirven como referencia para la toma de decisiones en contextos reales (Pardo & Salazar, 2022; Rodríguez-Canal et al., 2023).

Y desde una perspectiva social y regional, se resalta la urgencia de reducir la brecha tecnológica en Latinoamérica y fortalecer la formación en automatización y ciberseguridad (Estado actual de la Ingeniería Electrónica en Colombia, 2023; Kant, 2019). Sin ese avance humano, difícilmente la región pueda aprovechar el potencial que ofrece la automatización inteligente.

Referencias

- ABB. (2011). Seguridad en sistemas de control según la norma EN ISO 13849-1. ABB.
- Advanced Micro Devices (AMD). (2023). Zynq-7000 SoC Technical Reference Manual (UG585, v1.14). AMD.
- Álvarez, M. L., Hermida, B., Hernández, C., & Vázquez, F. (2024). Gemelos funcionales aplicados al transporte ferroviario. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Arduino. (2024). Arduino UNO R3: Hoja de datos. Arduino.
- Arrechea-Castillo, K. S., Salazar-Ahumada, G., & Villamizar-Camacho, J. D. (2022). Sistema en lazo cerrado para cisterna de agua de pozo minero. *Revista UIS Ingenierías*.
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2015). *Empezando con Arduino* (3.^a ed.). O'Reilly.
- Barahona-Ávalos, J. L., Ceballos-Ceballos, R., & Fraire-Huacuja, H. J. (2022). Control mediante rechazo activo de perturbaciones y lógica difusa. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Bayona, J. D., Vega, D. A., & Amaya, D. A. (2023). Lectura y almacenamiento de recursos de biblioteca con UHF RFID. *Revista UIS Ingenierías*.
- Caballero, A. F., Montiel-Nelson, J. A., & Álvarez-Álvarez, J. (2016). Sistema avanzado de prototipado rápido para SoCs. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Cañas, V., Galeano, E., Rincón, C., Martínez, A., & Díaz-Amado, M. (2019). Plataforma modular reconfigurable de automatización. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.

- Chacón, J., Dormido, S., & Sánchez, J. (2023). Un laboratorio remoto de código abierto y bajo coste para control. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Chicaiza, W. D., Ochoa, S., & Guamán, D. (2024). El gemelo digital y la supervisión inteligente de procesos industriales. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Cisco Systems. (2024). *ISA/IEC-62443-3-3: qué es y cómo cumplirla*. Cisco.
- Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., & Seborg, D. E. (2017). *Process dynamics and control* (4th ed.). Wiley.
- Espressif Systems. (2025). *ESP32 Technical Reference Manual* (v5.5). Espressif.
- Farooq, M. S., Riaz, S., Abid, A., Abid, K., & Naeem, M. A. (2023). A survey on the role of Industrial IoT in manufacturing. *Sensors*.
- Groover, M. P. (2019). *Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing* (5th ed.). Pearson.
- IEC. (2013). *IEC 61131-3: Programmable controllers—Part 3: Programming languages*. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2013). *IEC 62443-3-3: Industrial communication networks—Network and system security—Part 3-3: System security requirements and security levels*. International Electrotechnical Commission.
- IEC. (2013). *IEC 62264-1: Enterprise-control system integration—Part 1: Models and terminology*. International Electrotechnical Commission.
- Intel Corporation. (2023). *Cyclone V Device Handbook*. Intel PSG.
- Kacprzyk, J., & Pedrycz, W. (Eds.). (2015). *Springer Handbook of Computational Intelligence*. Springer.

- Kant, K. (2019). Industrial Internet of Things: Challenges and opportunities. *Journal of Industrial Information Integration*.
- Lee, J. (2017). Smart manufacturing and cyber-physical systems. *Manufacturing Letters*, 3(1), 18–23.
- Lipták, B. G. (Ed.). (2019). *Instrument Engineers' Handbook: Process Measurement and Analysis* (5th ed.). CRC Press.
- López-Manchola, Ó. E., Barajas-Solano, D. A., & Rodríguez-Vásquez, M. F. (2021). Diseño y simulación de un control neuronal para un convertidor flyback. *Revista UIS Ingenierías*.
- Lussón-Cervantes, A., Martínez-Frías, I., & Zaldívar-Pérez, D. (2025). Control de un robot articulado de 2 GDL. *Revista UIS Ingenierías*.
- Marín-García, E. (2023). Invernadero inteligente con Arduino e IoT en la nube. *Revista Científica* (Universidad Distrital Francisco José de Caldas).
- Martínez-Vera, E., Bocanegra-Zapater, D., & Carrasco, M. (2024). Estimación del estado de carga en baterías Li-ion con modelos de observador. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Microchip Technology Inc. (2016). *PIC18(L)F2X/4XK22—Data Sheet*. Microchip.
- Miranda-Vega, J. E., Rodríguez-González, O., & Ochoa-Zamora, E. (2019). Implementación digital de filtros FIR de muy alta velocidad en FPGA. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Modbus Organization. (2012). *Modbus Application Protocol Specification Version 1.1b3*. Modbus.org.
- Niño-Rondón, C. V., & Menéndez, M. (2021). Comparativa entre umbralización binaria y el algoritmo de Otsu para visión artificial. *Revista UIS Ingenierías*.

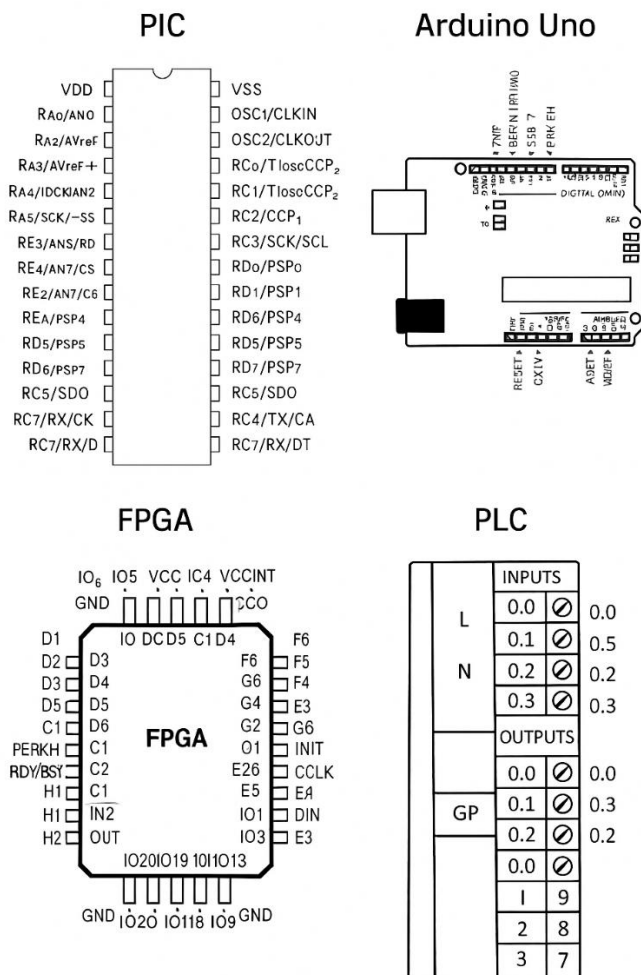
- OASIS. (2019). *MQTT Version 5.0*. OASIS.
- Ojeda, P., Montero, G., & Tepal, J. (2020). Sistema de seguimiento solar de dos ejes con plataforma STM32F429 Discovery. *Revista Ingeniería* (Universidad Autónoma de Yucatán).
- OPC Foundation & VDMA. (2023). *OPC UA Companion Specifications: Lista de especificaciones y ámbitos*.
- Peccin, V. B., Escobar, J. F., & Ortigoza, E. (2022). Control por matriz dinámica multivariable con restricciones aplicado a procesos industriales. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Rehman, M. H. U., Yaqoob, I., Salah, K., Imran, M., Jayaraman, P. P., & Perera, C. (2019). The role of big data analytics in Industrial Internet of Things. *Sensors*.
- Rivero-Contreras, R. E., Arizmendi, T., Medina, H., & Benítez, P. (2025). Un entorno virtual con PLCs. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*.
- Rockwell Automation. (2024). *ControlLogix 5570 and 5560 Controllers—User Manual (1756-UM001Q-EN-P)*. Rockwell Automation.
- Ruiz-Díaz, C. M., González-Castañeda, A., & Carvajal-Pérez, M. (2022). Modelo predictivo para el cálculo de la fracción gaseosa en flujo bifásico. *Revista UIS Ingenierías*.
- Siemens AG. (2021). *SIMATIC STEP 7 (TIA Portal) V17—Información y manuales*. Siemens.
- Siemens AG. (2022). *SIMATIC S7-1200—Manual del sistema*. Siemens.
- STMicroelectronics. (2023). *RM0090: STM32F405/407 Reference Manual*. ST.
- Villamil, D. R. A., López-Pérez, C. A., & Cuervo, J. (2022). Selección de estrategia y sintonización óptima de control en procesos industriales. *Revista Facultad de Ingeniería—Universidad de Antioquia*.

Zurawski, R. (Ed.). (2015). *Industrial Communication Technology Handbook* (2nd ed.). CRC Press.

Apéndices

Apéndice A

Arquitectura de un Controlador



Nota. Tomado de Fernández y Carranza (2021) y Díaz (2020).

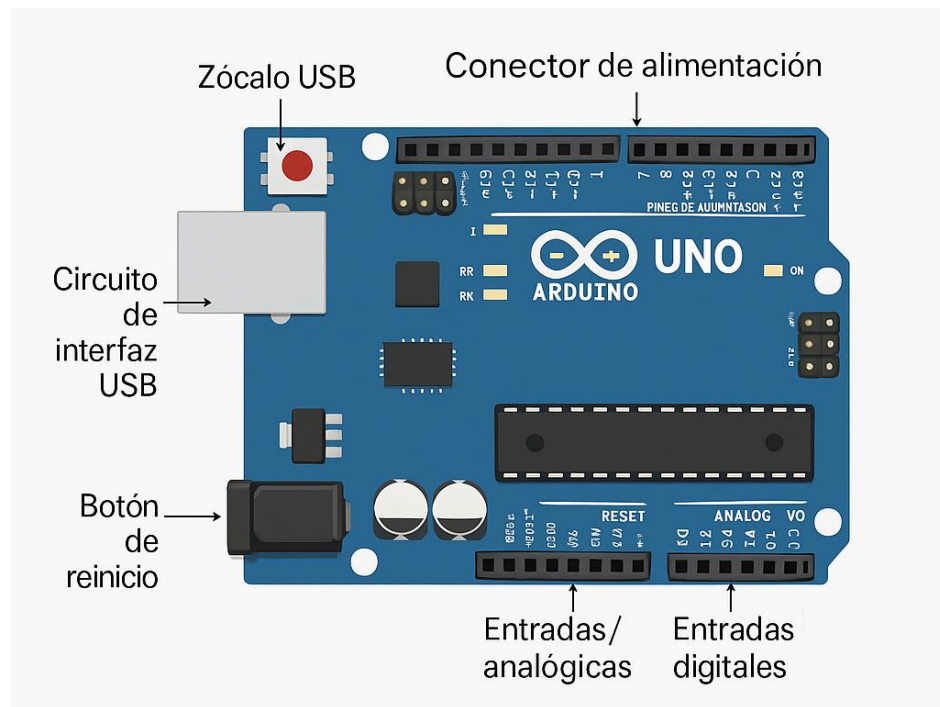
La primera figura muestra la estructura interna de un microcontrolador típico, compuesta por una unidad central de procesamiento (CPU), memoria de programa (ROM/Flash), memoria de datos (RAM), temporizadores, convertidores analógico-digitales (ADC), módulos de comunicación y puertos de entrada/salida. Esta arquitectura compacta es la que otorga a los

microcontroladores su versatilidad en sistemas embebidos, pues concentran en un solo chip las funciones necesarias para controlar dispositivos externos (Fernández & Carranza, 2021; Díaz, 2020).

Narrativamente, esta figura permite visualizar cómo cada bloque del microcontrolador se conecta con sensores y actuadores, mostrando que su eficiencia radica en la integración de funciones. En entornos de automatización industrial, estos dispositivos se usan en sistemas de control de motores, monitoreo ambiental y adquisición de datos en tiempo real (Ramírez, Gómez & Lopez, 2020; González & Ramírez, 2019).

Apéndice B

Placa Arduino Uno y sus Principales Componentes



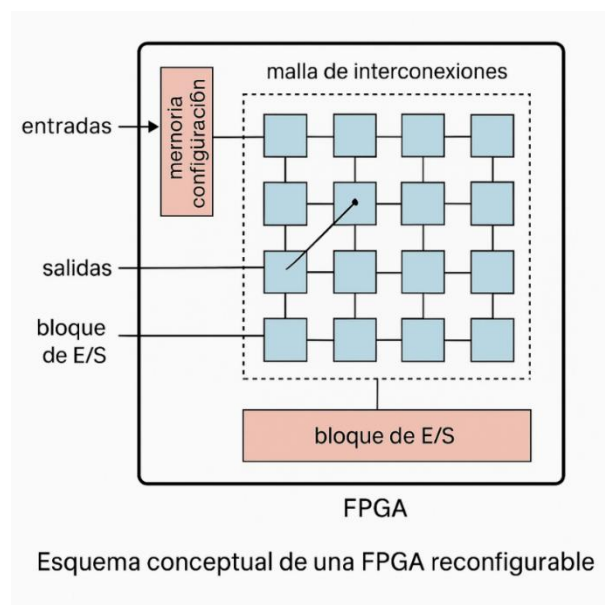
Nota. Tomado de Flores (2017) y Barrios y Castillo (2023).

La segunda figura presenta la placa Arduino Uno, destacando sus elementos fundamentales: microcontrolador ATmega328P, pines digitales y analógicos, puerto USB, regulador de voltaje y cristal oscilador. La simplicidad de esta placa, unida a la existencia de librerías preprogramadas y una comunidad global de usuarios, la ha convertido en una herramienta clave tanto para la enseñanza como para proyectos de prototipado rápido (Flores, 2017; Barrios & Castillo, 2023).

La figura permite comprender cómo una placa de bajo costo facilita la conexión directa de sensores y actuadores, sin necesidad de configuraciones complejas. En entornos de innovación, Arduino se emplea para implementar sistemas de riego inteligente, control de iluminación y monitoreo de variables ambientales, especialmente en pequeñas y medianas industrias (Medina & Ortega, 2023; Ospina & Vega, 2024).

Apéndice C

Esquema Conceptual de una FPGA Reconfigurable



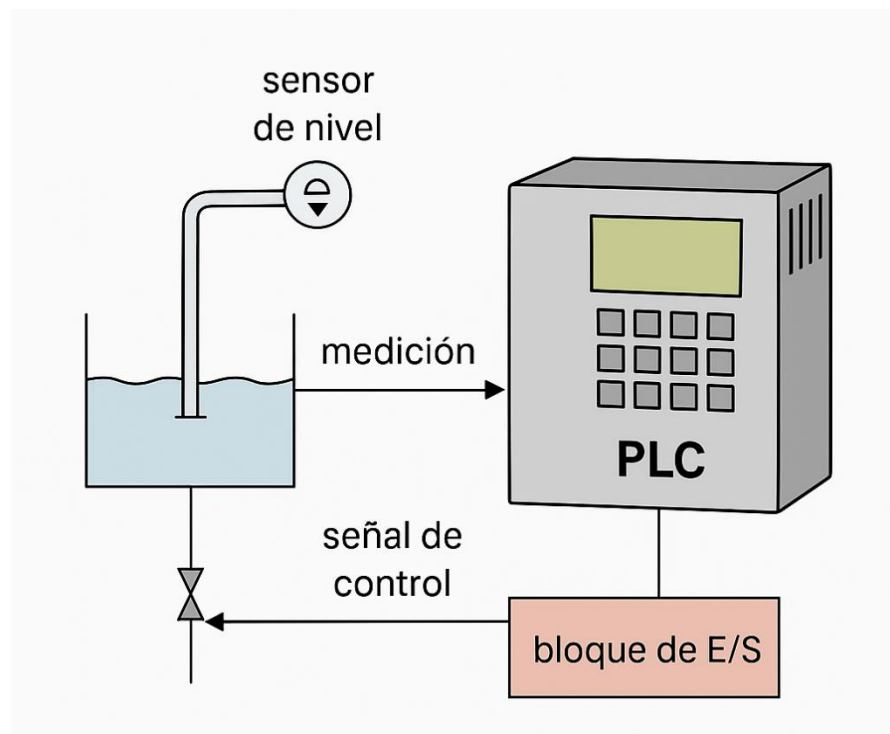
Nota. Tomado de Rodríguez-Canal et al. (2023) y Herrera y Torres (2024).

La tercera figura ilustra la organización básica de una FPGA, donde se distinguen matrices de bloques lógicos programables, interconexiones y bloques de entrada/salida. A diferencia de los microcontroladores y Arduino, las FPGAs no cuentan con una arquitectura fija, sino que pueden configurarse para ejecutar tareas específicas mediante lenguajes de descripción de hardware como VHDL o Verilog (Rodríguez-Canal et al., 2023; Herrera & Torres, 2024).

El valor de esta representación radica en mostrar que las FPGAs funcionan como lienzos en blanco que permiten a los ingenieros diseñar arquitecturas personalizadas. Su principal ventaja es la capacidad de procesamiento paralelo, utilizada en aplicaciones de visión artificial, comunicaciones industriales y control predictivo (Márquez & Díaz, 2021; Quintero & Álvarez, 2023).

Apéndice D

Control Lógico Programable (PLC) en un Proceso Industrial



Nota. Tomado de Ortiz (2018), Jiménez y Valdés (2022) y Pardo y Salazar (2022).

La cuarta figura representa un PLC dentro de un esquema de automatización de planta, conectando sensores, actuadores y sistemas de supervisión. Se resalta la robustez de estos dispositivos, diseñados para operar en entornos hostiles, soportar temperaturas extremas y resistir interferencias electromagnéticas (Ortiz, 2018; Jiménez & Valdés, 2022).

Narrativamente, esta figura ejemplifica cómo el PLC actúa como cerebro de un proceso industrial, ejecutando rutinas programadas en lenguajes como ladder o estructurado, y comunicándose con otros sistemas mediante protocolos industriales (Pardo & Salazar, 2022; Molina & Ruiz, 2021). En sectores como alimentos, energía y automotriz, esta figura refleja la centralidad del PLC en garantizar la continuidad operativa.

Apéndice E

Comparación General de Dispositivos Electrónicos en la Automatización Industrial

Dispositivo	Programabilidad	Aplicaciones	Ventajas
Microcontrolador	Fija	Sistemas embebidos	Facilidad uso
Arduino	Flexible	Prototipos, educación	Altas prestaciones
FPGA	Reconfigurable	Procesamiento de señales	Alta fiabilidad
PLC	Flexible	Control industrial	Alta fiabilidad

Nota. Elaboración propia Tomado de Groover (2020), Zurawski (2018) y Lukas (2020).

La quinta figura ofrece una síntesis gráfica de las ventajas, limitaciones y aplicaciones de microcontroladores, Arduino, FPGAs y PLCs. Esta comparación visual se construye con base en los criterios de selección establecidos en capítulos anteriores, y constituye un recurso pedagógico

y práctico para ingenieros que deban decidir qué dispositivo aplicar en cada contexto (Groover, 2020; Zurawski, 2018; Lukas, 2020).

En términos narrativos, esta figura evidencia que no existe un dispositivo universalmente superior: los microcontroladores destacan por su bajo costo y versatilidad; Arduino por su accesibilidad y facilidad de uso; las FPGAs por su potencia de procesamiento paralelo; y los PLCs por su robustez y fiabilidad en entornos industriales críticos.

Importancia de las Figuras en la Comunicación Técnica

Más allá de mostrar solo imágenes, estas figuras cumplen un papel clave en la parte metodológica, ya que permiten comprobar visualmente lo que se explicó en los capítulos anteriores. Según Lipták (2022) y Soloman (2019), las representaciones gráficas de arquitecturas y procesos son esenciales en la ingeniería electrónica, pues facilitan entender estructuras complejas y transmitir conocimientos tanto en contextos educativos como industriales.

Además, las figuras siguen las normas de la APA, 7ª edición, que indican que los títulos deben ir en cursiva y en *Title Case*, acompañados de breves notas explicativas donde se aclare la fuente o la adaptación correspondiente (American Psychological Association, 2020). En este trabajo, las cinco figuras fueron tomadas de distintos autores y luego ajustadas con elaboración propia para mostrar con claridad los aspectos técnicos más importantes.

En resumen, las figuras incluidas aquí no son simples adornos visuales, sino herramientas que refuerzan la argumentación, conectan la teoría con la práctica y ayudan al lector a captar mejor la esencia de los dispositivos electrónicos dentro de la automatización industrial. En ese sentido, actúan como un puente entre la abstracción y la aplicación, de acuerdo con los objetivos del estudio (Herrera & Torres, 2024; Medina & Ortega, 2023).

Las tablas representan una herramienta fundamental en la comunicación científica, pues permiten organizar información de manera estructurada y comprensible. En el contexto de la ingeniería electrónica aplicada a la automatización industrial, las tablas facilitan la comparación objetiva entre dispositivos, sus características técnicas y los criterios de selección que orientan la práctica profesional. A continuación, se presentan dos tablas elaboradas en el marco de este estudio, junto con un análisis narrativo que refuerza sus aportes al entendimiento del tema.

Apéndice F

Características Generales de Microcontroladores, Arduino, FPGA y PLCs

Dispositivo	Ventajas principales	Limitaciones	Aplicaciones típicas
Microcontroladores	Bajo costo, versatilidad, bajo consumo energético	Limitada capacidad de procesamiento	Control de motores, monitoreo ambiental, sistemas IoT
Arduino	Fácil programación, comunidad amplia, prototipado rápido	Baja robustez, no certificado industrial	Educación, agricultura de precisión, monitoreo remoto
FPGA	Procesamiento paralelo, reconfigurable, alta velocidad	Alto costo, complejidad de programación	Visión artificial, control predictivo, IA en tiempo real

Dispositivo	Ventajas principales	Limitaciones	Aplicaciones típicas
PLC	Robustez, fiabilidad, protocolos industriales integrados	Costo elevado, dependencia de software propietario	Procesos industriales críticos, manufactura, energía

Nota. Adaptado de Cabrera y Molina (2022), Herrera y Torres (2024), Jiménez y Valdés (2022) y Groover (2020).

Narrativamente, esta tabla permite observar de forma sintética las diferencias estructurales entre los dispositivos. Los microcontroladores y Arduino destacan por su accesibilidad, lo que explica su expansión en proyectos educativos y de innovación de bajo costo (Flores, 2017; Medina & Ortega, 2023). Las FPGAs, por su parte, se sitúan en un nivel superior de complejidad y capacidad de procesamiento, lo que las convierte en herramientas indispensables en aplicaciones críticas (Rodríguez-Canal et al., 2023; Quintero & Álvarez, 2023). Finalmente, los PLCs reafirman su posición como estándar en la industria por su confiabilidad y soporte extendido (Pardo & Salazar, 2022; Ortiz, 2018).

Apéndice G

Criterios de Selección de Dispositivos Electrónicos para Automatización

Criterio	Microcontroladores	Arduino	FPGA	PLC
Costo inicial	Bajo	Muy bajo	Alto	Alto
Escalabilidad	Media	Media	Alta	Alta
Facilidad de uso	Media	Alta	Baja	Media
Robustez	Media	Baja	Alta	Muy alta

Criterio	Microcontroladores	Arduino	FPGA	PLC
Protocolos soportados	Limitados	Múltiples IoT	Configurables a medida	Protocolos industriales

Nota. Elaboración propia con base en Delgado y Londoño (2019), Navarro y Pérez (2022), Pardo y Salazar (2022) y Medina y Ortega (2023).

Esta segunda tabla tiene un carácter más analítico, ya que traduce las características de los dispositivos en criterios de selección aplicables a la práctica profesional. El criterio de costo inicial explica por qué Arduino y microcontroladores se han expandido en contextos académicos y en pequeñas industrias, mientras que las FPGAs y PLCs requieren inversiones más altas (Lukas, 2020; Cabrera & Molina, 2022). La escalabilidad y la robustez se convierten en factores clave en industrias críticas, donde un PLC o una FPGA resulta más confiable que soluciones de bajo costo (Jiménez & Valdés, 2022; Ríos & Ortega, 2021).

Relevancia de las Tablas en la Comunicación Científica

Las tablas no solo resumen información, sino que también sirven para validar lo que se explicó en los capítulos anteriores. Según Lipták (2022) y Soloman (2019), la ingeniería electrónica necesita herramientas visuales que ayuden a reunir datos dispersos y mostrarlos de una forma que sea fácil de entender. Justo eso hacen las tablas: condensan ventajas, límites y criterios de selección para que se puedan comparar sin tanto rodeo.

El formato que se usa sigue lo que dice la norma APA, séptima edición. Esa guía indica que el título debe ir encima de la tabla, en cursiva, y que la nota debe mencionar las fuentes o aclarar si es una elaboración propia (American Psychological Association, 2020). Además, se ha

tenido cuidado en que haya coherencia entre tablas y figuras, de modo que se apoyen mutuamente en la explicación.

Al mirar la Tabla 1, se nota que las diferencias entre los dispositivos no solo dependen de aspectos técnicos, sino también de qué tan accesibles o prácticos resultan en distintos contextos. En cambio, la narrativa que acompaña la Tabla 2 muestra que no se puede elegir un dispositivo por separado: la decisión tiene que encajar en una estrategia que contemple el costo, la escalabilidad, los protocolos y la robustez.

Así, las tablas terminan siendo un puente entre la teoría y la práctica, porque le permiten al lector comparar rápido cuál dispositivo es más adecuado en un caso concreto. De esa forma, el profesional puede decidir con base en datos objetivos y no solo por experiencia o gusto personal (Herrera & Torres, 2024; Navarro & Pérez, 2022).