Revisión sistemática de literatura de las actuales tecnologías de los microprocesadores

Systematic literature review of current microprocessor technologies

Julián Adolfo Barajas Higuera
Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
julianbarajas303@gmail.com

José Miguel Rojas Quintero
Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
miguelrojas6789@gmail.com

Carlos Abizahir Romero Araiza
Universidad Autónoma de Sinaloa, Mazatlán, México
abizahir.romero@hotmail.com

doi: https://doi.org/10.36825/RITI.12.25.004

Recibido: Diciembre 15, 2023
Aceptado: Abril 18, 2024

Resumen: En esta investigación, se examinan las variables importantes y componentes, arquitectura y conjunto de instrucciones para microprocesadores diseñados entre 1970 y 2022. La manera en la que están construidos los microprocesadores ha evoluciona al transcurrir el tiempo, este trabajo muestra de qué manera han avanzado las tecnologías implementadas en estos con el paso de los años y analizar en que áreas se implementan para automatizar y facilitar los procesos en estas.

Palabras clave: *Microprocesador, Procesadores, Nuevas Tecnologías, Revisión de Literatura.*

Abstract: This work analyzed the main factors, components, architecture, and instructions for microprocessors designed between 1970 and 2022. Although the way microprocessors are built has changed over the years, in work presented, we investigate the technological advancements of microprocessors and analyze which areas are implemented to automatize and make the processes most accessible.

Keywords: *Microprocessor, Processors, New Technologies, Literature Review.*

1. Introducción

A lo largo de la evolución de la humanidad, el microprocesador ha adquirido una importancia fundamental como una herramienta esencial en la sociedad; tan esencial como lo fueron el martillo, pala o hasta el fuego de los primeros hombres. Estas invenciones, aunque primitivas, permitieron la evolución e integración de la especie como hoy se conoce. Paradójicamente, los utensilios mencionados se crearon hace miles de años y el primer procesador, el *Intel* 4004, se fabricó apenas en 1971, contenía 2,300 transistores y 4 bits; con la capacidad de realizar 60,000 operaciones lógicas por segundo [1].

© RITI. CC BY-NC

Es importante conocer cómo a través de los años ha evolucionado este circuito informático, y cómo ha cambiado para satisfacer las necesidades que se requieren hoy en día, ya sea soportar *software* de edición, algoritmos matemáticos, lenguajes de programación, gestión en servidores, etc. Un fenómeno importante es la complejidad cada vez mayor de las aplicaciones informáticas, también llamadas por su término en inglés: *apps*. Esta tendencia se debe principalmente al alto rendimiento de las *apps* y a las grandes exigencias de los usuarios finales.

Acerca del aumento en el rendimiento de los microprocesadores, quizá pueda explicarse con lo observado por el científico estadounidense Gordon Moore mientras trabajaba en *Fairchild Semiconductor*, que la cantidad de transistores en un microchip se duplicaba cada año. Por lo que en 1965 pronuncia lo que se conoce en el mundo de la computación como Ley de Moore [2], que afirma lo anterior, (*la cantidad de transistores en un microchip se duplica cada año*). Moore cofundó *Intel Corporation* y su *Ley* (que no es una ley en el sentido estricto), se transformó en el motor principal que impulsó la revolución tecnológica de semiconductores en *Intel* y otras compañías.

Hablando técnicamente, el aumento del rendimiento de los sistemas informáticos es posible gracias a una serie de factores: (1) las tecnologías de chips (microprocesadores) actuales pueden integrar varios cientos de millones de transistores. Además, estos transistores pueden sincronizarse a frecuencias cada vez mayores (a lo que coloquialmente se le llama *ser más rápido*); (2) los arquitectos informáticos desarrollan técnicas microarquitectónicas avanzadas para aprovechar esta enorme cantidad de transistores. Como tal, impulsan aún más el rendimiento de los microprocesadores; (3) los compiladores actuales pueden generar código altamente optimizado [3].

El funcionamiento de los sistemas de cualquier computadora —y muchos otros dispositivos como teléfonos inteligentes, tabletas, televisores y cualquier aparato que utilice Internet de las Cosas (*Internet of Thing*, abreviado IoT)— depende de la fiabilidad de los componentes electrónicos que gestionan el control y procesamiento de datos, principalmente la *Central Processing Unit* o CPU —el microprocesador—. Lo anterior influye en los factores clave en el diseño de microprocesadores actuales y futuros. Al día de hoy no es posible crear un microprocesador basado en la intuición, la experiencia y reglas generales se requieren evaluaciones de rendimiento detalladas a través de simulaciones para caracterizar el desempeño de una arquitectura en una gran cantidad de aplicaciones. El tiempo total de diseño de un microprocesador complejo puede llevar hasta siete años [4].

Por lo anterior, se analizaron las actuales tecnologías que incorporan los microprocesadores y cuáles son sus principales características para así tomar la mejor decisión en una futura compra. El objetivo de esta investigación es analizar y discutir la literatura de investigación publicada de 2018 a 2022, referente a la evolución de los microprocesadores. En los siguientes apartados se encontrarán publicaciones previas realizadas por otros investigadores, estas son revisiones sistemáticas de literatura, estados del arte, mapeos sistemáticos, *reviews* o *surveys* sobre el campo de investigación tratado; a continuación, se indica la metodología utilizada en esta revisión sistemática de literatura; posteriormente se muestran una tabla de clasificación de los estudios analizados, a manera de resultados; y finalmente se encuentran las conclusiones.

2. Investigaciones previas

Existen informes de investigación publicados sobre la evolución del microprocesador, su diseño, rendimiento y temas relacionados, gracias al crecimiento y desarrollo de las tecnologías de la información y la era digital que se vive permiten un amplio campo de investigación en el área. Para este estudio se realizó una búsqueda del estado del arte, que permitió evidenciar en qué nivel se ha incursionado sobre este eje temático. Como se observa en la Tabla 1, se dispuso de 12 investigaciones de revisiones de literatura, las cuales están organizadas en orden ascendente por año de publicación.

Tabla 1. Artículos de revisión de literatura. Fuente: Elaboración propia.

Año	Autor y Título	Aportación
2020	Wang y Wang [5]. *RETRACTED*: *Simulation of dance performance analysis with microprocessor and machine vision interaction*	El algoritmo propuesto de Máquina Vector de Decisiones de Apoyo al Aprendizaje de Máquinas (SDVM) y Matriz de Puerta Programable de Campo (FPGA) es un experto en danza que observa la danza debido a la tarea de reconocimiento, el conocimiento de tareas de los pronosticadores profesionales, gestos y expresiones faciales

© RITI. CC BY-NC

		y condiciones cara a cara que condujeron a una mejor sincronización de la sincronización. En el algoritmo SDVM de aprendizaje automático propuesto
2019	Gorbunov [6]. *Design of fault-tolerant microprocessors for space applications*	Se discuten los principales conceptos de diseño para microprocesadores tolerantes a fallas, arquitecturas de conjunto de instrucciones (ISA) de microprocesadores para aplicaciones espaciales y las características alcanzables considerando los microprocesadores KOMDIV diseñados por SRISA. La compensación entre la tolerancia a fallas, el rendimiento y el consumo de energía se considera para los microprocesadores diseñados utilizando las tecnologías de silicio sobre aislante (SOI) y CMOS a granel.
2016	Dai *et al.* [7]. *Explore prediction for instruction level redundant execution in fault tolerant microprocessors*	Muchos dispositivos con microprocesador moderno han generado una mayor atención a los errores suaves transitorios. Las estrategias anteriores para la redundancia temporal de nivel de instrucción en procesadores superescalares fuera de orden tienen una degradación del rendimiento de hasta el 45% en determinadas aplicaciones en comparación con la ejecución normal.
2011	Loilier y Tellier [8]. *Que faire du modèle de l'innovation ouverte ?*	En este artículo es determina el conjunto de condiciones para que el modelo de innovación abierta represente un marco analítico del proceso de innovación. Se representan las ambigüedades que son típicas de la versión actual del modelo. Posteriormente se evalúa un modelo ajustado y se proponen nuevas vías a explorar.
2011	Sinclair [9]. *Microprocessors, Calculators, and Computers*	Un microprocesador es un tipo de chip de circuito integrado de lógica universal (IC), que puede realizar un conjunto de acciones en secuencia. La secuencia y las acciones se controlan mediante un programa, que consta de números binarios que se utilizan para abrir y cerrar puertas dentro del microprocesador.
2019	Lamie [10]. *Introduction to the MIPS Microprocessor*	La arquitectura MIPS se basa en el concepto RISC. La fuerza impulsora detrás de RISC (equipo de conjunto de instrucciones reducido) es que la mayoría de los lenguajes de alto nivel se pueden implementar usando un pequeño conjunto de instrucciones nativas del procesador.
2010	Higham y Berge [11]. *Microprocessor-Based and Intelligent Transmitters*	La evolución en el diseño de transmisores está influenciada, por un lado, por los requisitos de los usuarios para mejorar el rendimiento, junto con un menor costo de propiedad y, por otro, por los desarrollos que han tenido lugar en tecnologías adyacentes, tales como diseño asistido por ordenador (CAD), microelectrónica, ciencia de materiales y tecnologías de comunicación.
2003	Jesshope [12]. *Multi-threaded microprocessors– evolution or revolution*	Se analizan los microprocesadores con subprocesos y se explica porqué la opción más popular de ejecución fuera de orden tiene un futuro pobre y no es probable que proporcione un camino para la escalabilidad futura de los microprocesadores. Las primeras arquitecturas convencionales de subprocesos están comenzando a surgir, pero desafortunadamente se basan en una ejecución desordenada.
2000	Schlett [13]. *Embedded microprocessors: Evolution, trends, and challenges*	Los microprocesadores se han convertido en casi productos básicos de la industria de la microelectrónica. Sin embargo, a diferencia de los procesadores para equipos de sobremesa utilizados en el sector de los sistemas integrados, existen muchas arquitecturas y proveedores de procesadores diferentes en el mercado.
1997	Barthel [14]. *Architecture for microprocessors and DSPs*	La tecnología de dispositivos de silicio es sólo una fuente de mejoras de rendimiento para microprocesadores y DSP. La integración permite colocar más transistores en un

© RITI. CC BY-NC

		troquel. En este artículo se describe cómo se utilizan correctamente los transistores adicionales en los procesadores programables, basándose en las características más destacadas de sus aplicaciones. También se señalan las implicaciones en el consumo de energía y en las herramientas de *software*.
1987	Swann [15]. *A decade of microprocessor innovation: an economist's perspective*	En este artículo se analiza toda la gama de nuevos microprocesadores introducidos durante el período 1971-1981, y se extraen conclusiones sobre lo que motiva a los diferentes fabricantes a producir los dispositivos que hacen, el papel de los estándares de productos y el papel de los productores de segunda fuente.
1987	Wagner y Nicoud [16]. *On the notation of CALM — common assembly language for microprocessors*	Common Assembly Language for microprocessors (CALM) es un conjunto de notaciones, independiente de cualquier fabricante, pero fuertemente inspirado por los mejores ensambladores existentes. El documento contiene una discusión sobre los modos de direccionamiento del ensamblador y sus expresiones. Un ejemplo de programa de la subrutina Bubble Sort escrita para cuatro procesadores (hipotético, 8085, 8086, 68000) da una idea de los programas.

En la Tabla 1 se analizan 12 informes de investigación acerca de la evolución de los microprocesadores, publicados entre 1987 y 2020. Se observa que se han estudiado tanto procesadores reales como hipotéticos; CPU de la década de lo 70 y 80, hasta los actuales; tecnologías RISC y CISC. El análisis consta de chips que hacían operaciones rudimentarias, hasta otros para el reconocimiento facial y gestual.

3. Metodología

Para este estudio, se adoptó un enfoque cualitativo de nivel exploratorio, combinando diseño de campo y método documental. Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda en múltiples bases de datos, incluyendo Scholar Google, Elsevier, Springer e IEEE Xplore, con el fin de recopilar artículos, tesis, libros y resúmenes provenientes de diversas fuentes, como editoriales universitarias, asociaciones profesionales y repositorios de universidades. La búsqueda se limitó al período comprendido entre 2018 y 2022, centrándose en términos clave como "Microprocesadores", "Procesadores computacionales" y "Tecnología CPU". Los criterios de inclusión y exclusión, detallados en la Tabla 2, delinean los requisitos que deben cumplir las publicaciones para ser consideradas en la revisión de literatura. Mientras que los criterios de exclusión delinean los factores que descalifican un estudio para su análisis en esta revisión. Esta metodología garantiza la exhaustividad y la relevancia de la selección de literatura, asegurando la calidad y la pertinencia de los materiales revisados en el contexto de la investigación.

Tabla 2. Criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Elaboración propia.

Inclusión	Exclusión
Investigaciones empíricas sobre microprocesadores.	Revisiones de literatura, argumentaciones teóricas, opiniones personales. Otras publicaciones que no investiguen microprocesadores.
Artículos, capítulos de libro, libros, tesis, ponencias revisadas por pares.	Artículos, capítulos de libro, libros, tesis, ponencias no arbitradas.
Publicaciones de revistas indizadas de 2018 a 2022.	Publicaciones de revistas no indizadas. Publicaciones anteriores a 2018 o después de 2022.
Investigaciones escritas en inglés y español.	Investigaciones escritas en otros idiomas.

© RITI. CC BY-NC

4. Resultados

La Tabla 3 muestra las 14 publicaciones resultado del procedimiento de indagación. Se identificaron 34 artículos, capítulos de libro y tesis mediante el proceso de indagación en las plataformas en línea: Scholar Google, Elsevier, Springer e IEEE Xplore. Se descartaron 20 artículos por no contar con las características establecidas en la Tabla 2.

Tabla 3. Publicaciones referentes a microprocesadores. Fuente: Elaboración propia.

Año y País	Autor y título	Contribución
2022 España, Madrid	López Sánchez [17]. Diseño y simulación de un microprocesador para sistemas embebidos basado en la ISA RISC-V	El proyecto se centra en la arquitectura de conjunto de instrucciones (ISA) RISC-V y abarca diversos aspectos clave. Comienza con una introducción que brinda una visión general del campo, seguida de una explicación detallada de cómo funciona el juego de instrucciones RISC-V, explorando sus características y principios fundamentales. Además, se realiza un análisis exhaustivo de la adopción de RISC-V en la industria, destacando empresas que han optado por esta tecnología en sus proyectos, con ejemplos específicos de cómo la han aplicado en sus sistemas o productos. El proyecto también incluye la implementación de 8 instrucciones utilizando 4 formatos diferentes, detallando el diseño y codificación de estas instrucciones en el contexto del proyecto.
2020	Rodríguez-Gutiérrez y Vargas-Hernández [18]. Ventaja competitiva de Intel en el segmento de los microprocesadores	El propósito central de este estudio consiste en realizar un análisis exhaustivo acerca del crecimiento y desarrollo global de Intel Corporation como empresa, así como identificar y examinar su ventaja competitiva en comparación con otros competidores presentes en el mercado.
2021	Khan *et al.* [19]. Advancements in Microprocessor Architecture for Ubiquitous AI—An Overview on History, Evolution, and Upcoming Challenges in AI Implementation.	Se presenta una descripción general de la evolución de la IA y cómo las crecientes capacidades de los microprocesadores han impulsado la adopción de IA en una gran cantidad de dominios de aplicación. El documento también analiza las próximas tendencias en arquitecturas de microprocesadores y cómo impulsarán aún más la asimilación de la IA en nuestra vida diaria.
2019 Ecuador	Figueroa Nacimba [20]. Aplicación de un sistema con microprocesadores para potenciar la enseñanza aprendizaje de sistemas digitales en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales	El objetivo principal de esta investigación es implementar un sistema basado en microprocesadores con el fin de mejorar la enseñanza y el aprendizaje de Sistemas Digitales en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales. Para lograrlo, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las tecnologías utilizadas en el diseño del sistema, se determinarán las especificaciones técnicas del microprocesador y los componentes electrónicos periféricos de entrada y salida, y se diseñarán circuitos prácticos relacionados con Sistemas Digitales. El objetivo final es proporcionar una herramienta efectiva y práctica que facilite la comprensión y aplicación de los conceptos de Sistemas Digitales en el proceso de enseñanza y aprendizaje.
2019 Madrid, España	Casas Alonso [21]. Sistema de control basado en microprocesador para el aprendizaje de sistemas digitales complejos	El objetivo principal del proyecto es ampliar las funcionalidades del microcontrolador STM32L152RE mediante la integración de un sistema adicional de sensores diversos, con el propósito de utilizar diferentes periféricos. Esta mejora se llevará a cabo mediante la implementación de un conjunto de técnicas y configuraciones que permitirán la comunicación y el control de los nuevos sensores, así como la interacción con los periféricos existentes en el microcontrolador. El resultado final

© RITI. CC BY-NC

		será un sistema más versátil y completo que pueda aprovechar al máximo las capacidades del microcontrolador y ofrecer nuevas opciones de aplicaciones y funcionalidades.
2018	Isaza-González [22]. Aportaciones a la tolerancia a fallos en microprocesadores bajo efectos de la radiación	Esta tesis doctoral presenta una herramienta y una metodología para realizar campañas de inyección de fallos SEU en procesadores COTS utilizando plataformas de emulación/simulación. Se aprovechan las infraestructuras de depuración de hardware para ejecutar y depurar los casos de estudio. También se explora el uso de un modelo HDL del procesador MSP430 de Texas Instruments para evaluar la fiabilidad de las aplicaciones en la etapa inicial de desarrollo. Se emplean diferentes métodos de inyección de fallos y se resaltan las ventajas de la emulación FPGA sobre la inyección en dispositivos reales. En resumen, se enfoca en el desarrollo de una herramienta y metodología para la inyección de fallos SEU, junto con el análisis de la fiabilidad de aplicaciones mediante el uso de modelos HDL y emulación FPGA.
2021	Chuquimarca Jimenez *et al.* [23]. Simulación electrónica del microprocesador GAL22V10 mediante el software Proteus basado en VHDL para virtualizar circuitos integrados	Se describe la utilización de un microprocesador GAL22V10 como controlador en un proceso de llenado de tanques en un entorno industrial. El controlador se programó utilizando VHDL en Cypress Warp Galaxy y se simuló en Proteus. Se parametrizaron las entradas y salidas del sistema de control controladas por el microprocesador GAL22V10. Los resultados fueron exitosos, cumpliendo con los requisitos del proceso industrial. En resumen, se muestra el uso del microprocesador GAL22V10 como controlador en un proceso de llenado de tanques, utilizando VHDL y simulación en Proteus, con resultados satisfactorios para el entorno industrial.
2016	Martinez del Pezo, *et al.* [24]. Cluster de microprocesadores RISC para problemas de agricultura de precisión.	En el ámbito de la agricultura de precisión, se requiere realizar cálculos y predicciones climáticas que demandan una gran capacidad de cómputo. Sin embargo, adquirir un cluster de alto rendimiento resulta costoso en la mayoría de los casos. Una alternativa viable es utilizar una unidad de procesamiento gráfico de propósito general (GPGPU) para tareas intensivas de cómputo, aunque esto está limitado a problemas que aprovechen el paralelismo de datos. Este trabajo propone una investigación y desarrollo centrada en la creación de un cluster de bajo costo específicamente diseñado para abordar problemas de paralelismo de tareas en la agricultura de precisión. El objetivo es ofrecer una solución asequible que permita realizar cálculos intensivos y aprovechar el potencial del paralelismo en tareas específicas dentro de este campo.
2019	Delgado del Carpio [25]. Diseño e implementación de un microprocesador para PLC sintetizado en FPGA y su interfaz con la PC para optimizar tiempos de respuesta.	En esta tesis se implementó un microprocesador basado en la norma IEC 61131-3 en un FPGA y se evaluó su rendimiento en comparación con otros microprocesadores utilizados en PLC. Los resultados mostraron una mejora significativa en los tiempos de respuesta, con una ejecución de instrucciones hasta 27.125 veces más rápida. También se observó un uso reducido de recursos lógicos en los FPGA. La implementación de programas de control en PLC demostró un rendimiento mejorado, con hasta un 61.4% menos de tiempo de respuesta. La interfaz implementada permitió la carga de programas y la recopilación de estados internos, facilitando la interacción con el microprocesador. En conclusión, este estudio demuestra que el microprocesador implementado en los FPGA ofrece tiempos de respuesta superiores en comparación con otros microprocesadores evaluados.

© RITI. CC BY-NC

2021	Barahona *et al.* [26]. Diseño e Implementación de Sensores Autónomos Inalámbricos para Sistemas Eléctricos de Protección Utilizando Microprocesadores de Bajo Consumo de Potencia.	Se presenta el diseño de un sensor autónomo para sistemas de protección eléctrica que utiliza tecnologías innovadoras y se abastece de recursos energéticos del entorno, con un bajo consumo de potencia. El prototipo consta de cuatro etapas: adquisición de datos de corriente, detección de perturbaciones en la señal, comunicación por radiofrecuencia y suministro de energía mediante baterías y paneles solares. El sensor opera en modo de ultra bajo consumo de energía, activando la transmisión de datos solo cuando se detectan valores anormales de corriente. Se realizaron pruebas de funcionamiento y se analizaron los resultados obtenidos para evaluar el rendimiento del sensor.
2020	Cano Ladino [27]. Implementación de dispositivos ARM sobre FPGAs de Xilinx	Este proyecto se enfoca en utilizar microprocesadores Cortex-M1 de la plataforma DesignStart FPGA de ARM en entornos de XILINX. Estos microprocesadores son de libre acceso, lo que brinda la oportunidad de estudiar su funcionamiento en una FPGA específica, como la Nexys 4 DDR de la familia Artix-7. Esto permite obtener conocimientos prácticos sobre el desarrollo de un sistema en chip (SoC) propio utilizando uno de los procesadores más básicos de ARM.
2019	Oroz de Gaetano [28]. Microprocesador RISC basado en MIPS32 con conectividad AMBA AHBE-Lite.	En este trabajo se presenta un estudio sobre arquitecturas de bus y la implementación de AMBA AHB-Lite en un sistema que incluye un microprocesador basado en la arquitectura MIPS32. Se adapta la interfaz del microprocesador para que sea compatible con las especificaciones del protocolo mencionado. Se realiza una comparación entre este sistema implementado y otras arquitecturas estándar que utilizan procesadores como Cortex-M0, OpenRISC1200, ZPU y LEON3. Se contrastan los requisitos de implementación en FPGA y el rendimiento alcanzado por cada una de estas arquitecturas.
2019 Sevilla, España	Hidalgo González [29]. Programación mediante herramientas visuales de microprocesadores digitales de señal (DSP) para aplicaciones de convertidores electrónicos de potencia	El dispositivo Boost es esencial en la electrónica de potencia al aumentar la tensión de salida respecto a la de entrada. Su relevancia en la generación de energía renovable, como la solar fotovoltaica, es notable. Para asegurar su correcto y seguro funcionamiento, se implementará un sistema de control mediante un microcontrolador y Simulink de Matlab. Este control en bucle cerrado generará la señal de modulación de los transistores, utilizando mediciones de entrada, salida y corriente de la bobina del convertidor. La simulación en Simulink permitirá visualizar y controlar el dispositivo, y luego se construirá físicamente para verificar su operatividad. La coordinación de datos y comandos se realizará con una interfaz gráfica desarrollada con GUIDE de Matlab.
2018	Ramos Amo [30]. Diseño e implementación de técnicas de tolerancia a fallos para el uso de un microprocesador en misiones espaciales	El avance de la informática y la electrónica en la carrera espacial ha generado desafíos, como los errores causados por la radiación cósmica. La protección (RadHard) tradicional de los componentes electrónicos es costosa, lo que limita su acceso a grandes agencias y corporaciones. Para superar esta barrera económica, se ha desarrollado una alternativa utilizando componentes comerciales adaptados a través de técnicas de protección ad-hoc (COTS). El uso de FPGAs programables ha abaratado los costos de diseño y fabricación, permitiendo a universidades y centros de investigación participar en misiones espaciales. Esta tesis se centra en el estudio de microprocesadores RISC-V implementados en FPGAs comerciales y propone técnicas de protección más eficientes para garantizar la tolerancia a fallos en entornos espaciales.

Luego de analizar los artículos de la Tabla 3, es posible realizar una agrupación de acuerdo a su temática y contribuciones principales. Por ejemplo, López Sánchez [17], Figueroa Nacimba [20] y Casas Alonso [21], hacen

sus propuestas enfocadas en arquitectura y diseño de los microprocesadores, explorando características y principios fundamentales, diseño y análisis de tecnologías utilizadas o aplicaciones específicas.

En el caso de Khan *et al.* [19], Barahona *et al.* [26] y Martinez del Pezo *et al.* [24] abordan tecnologías emergentes y aplicaciones específicas, como avances en arquitectura de microprocesadores para IA, examinando la historia, evolución y desafíos futuros en la implementación de IA, Diseño e implementación de sensores autónomos inalámbricos para sistemas eléctricos de protección, centrado en tecnologías innovadoras y bajo consumo de potencia y Desarrollo de un cluster de microprocesadores RISC para problemas de agricultura de precisión, con un enfoque en soluciones asequibles para tareas específicas.

En cuanto a seguridad y tolerancia de fallos Isaza-González [22] realiza portaciones a la tolerancia a fallos en microprocesadores bajo efectos de la radiación, con énfasis en la metodología para realizar campañas de inyección de fallos SEU en procesadores COTS y Ramos Amo [30] diseñó e implementó de técnicas de tolerancia a fallos para el uso de microprocesadores en misiones espaciales, explorando la adaptación de componentes comerciales para garantizar la fiabilidad en entornos críticos.

Delgado del Carpio [25] y Cano Ladino [27] orientan sus estudios en la Implementación y Optimización de Sistemas, diseñando e implementando un microprocesador para PLC sintetizado en FPGA y su interfaz con la PC para optimizar tiempos de respuesta, centrado en la mejora del rendimiento y la eficiencia en sistemas de control e implementación de dispositivos ARM sobre FPGAs de Xilinx, con el objetivo de estudiar y desarrollar sistemas en chip utilizando microprocesadores de acceso libre.

En cuánto al área de desarrollo de herramientas y métodos Chuquimarca Jimenez *et al.* [23] llevan a cabo una simulación electrónica del microprocesador GAL22V10 mediante software Proteus basado en VHDL para virtualizar circuitos integrados, con un enfoque en aplicaciones industriales y simulación de sistema y Ramos Amo [30] desarrolló un microprocesador RISC basado en MIPS32 con conectividad AMBA AHBE-Lite, explorando arquitecturas de bus y su implementación en sistemas específicos.

Finalmente, Hidalgo González [29] aborda Aplicaciones en Educación y Aprendizaje con la programación mediante herramientas visuales de microprocesadores digitales de señal (DSP) para aplicaciones de convertidores electrónicos de potencia, centrado en la mejora de sistemas de control mediante herramientas de simulación y programación visual.

En resumen, estos artículos abarcan una amplia gama de temas relacionados con la arquitectura, diseño, aplicaciones y seguridad de los microprocesadores, así como su implementación en diversos contextos y su uso en sistemas críticos y educativos. Cada uno de ellos contribuye de manera significativa al avance del conocimiento en su área específica y muestra la diversidad de aplicaciones y enfoques en el campo de los microprocesadores.

5. Conclusiones

Atendiendo el objetivo de la presente investigación el cual consiste en analizar investigaciones publicadas durante los años 2016-2022, teniendo como tema la evolución de los microprocesadores, es de reconocer que éstos tienen gran importancia en la actualidad debido al gran auge tecnológico que se vive. Del mismo modo que esta tecnología va cambiando radicalmente por las investigaciones, los nuevos descubrimientos permiten tener una mejor calidad de vida.

El estudio del estado del arte desde 1987 hasta 2020 proporciona una visión completa de cómo han evolucionado los microprocesadores en términos de su estructura, organización y rendimiento. Este análisis revela una tendencia de mejora continua año tras año, lo que refuerza la noción de que los microprocesadores son componentes tecnológicos en constante evolución, adaptándose a las necesidades cambiantes de la sociedad.

A pesar de la importancia de los microprocesadores, se identifica una escasez de investigaciones que sirvan como referencia sólida para futuros ingenieros y profesionales en este campo. Esta falta de literatura académica representa un obstáculo para el desarrollo de proyectos innovadores y la identificación de posibles errores en trabajos relacionados con los microprocesadores. Sin embargo, las pocas investigaciones disponibles ofrecen valiosos insights que pueden ser aprovechados para el estudio y aplicación práctica de conocimientos en este ámbito.

La revisión sistemática de la literatura sobre tecnologías de microprocesadores enfatiza su importancia en la sociedad contemporánea, destacando su evolución constante y la necesidad de una mayor investigación y publicación en este campo. Este análisis subraya la importancia de fomentar la innovación y el desarrollo

© RITI. CC BY-NC

tecnológico a través de un mayor compromiso con la investigación en microprocesadores, lo que podría conducir a avances significativos en diversas áreas de la tecnología y la ingeniería.

6. Referencias

[1] Acs, Z. J., Song, A. K., Szerb, L., Audretsch, D. B., Komlosi, E. (2021). The evolution of the global digital platform economy: 1971–2021. *Small Business Economics, 57* (4), 1629-1659. https://doi.org/10.1007/s11187-021-00561-x

[2] Shalf, J. (2020). The future of computing beyond Moore's law. *Philosophical Transactions of the Royal Society A, 378* (2166), 1-15. https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0061

[3] Eeckhout, L., De Bosschere, K. (2004). Efficient architectural design of high performance microprocessors. *Advances in Computers, 61*, 45-106. https://doi.org/10.1016/S0065-2458(03)61002-8

[4] Mukherjee, S. S., Adve, S. V., Austin, T., Emer, J., Magnusson, P. S. (2002). *Performance simulation tools. Computer, 35* (2), 38-39. https://doi.org/10.1109/2.982914

[5] Wang, J., Wang, P. (2021). RETRACTED: Simulation of dance performance analysis with microprocessor and machine vision interaction., *Microprocessors and Microsystems, 80*, 1-5. https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103625

[6] Gorbunov, M. S. (2019). Design of fault-tolerant microprocessors for space applications. *Acta Astronautica, 163* (Part A), 252-258. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2019.04.029

[7] Dai, H., Yan, C., Gong, B., Yang, Y. (2016). Explore prediction for instruction level redundant execution in fault tolerant microprocessors. *Journal of Systems Architecture, 70,* 70-81. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2016.04.004

[8] Loilier, T., Tellier, A. (2011). Que faire du modèle de l'innovation ouverte? *Revue française de gestion, 1* (210), 69-85. https://www.cairn.info/revue-francaise-de-gestion-2011-1-page-69.htm

[9] Sinclair, I. (2011). Chapter 13 - Microprocessors, Calculators, and Computers. En I. Sinclair (Ed.), *Electronics Simplified* (3rd. Edition) (pp. 243-261). Editorial Newnes. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-097063-9.10013-5

[10] Lamie, E. L. (2009). Chapter 5 -Introduction to the MIPS Microprocessor. In E. L. Lamie (Ed.) *Real-Time Embedded Multithreading Using ThreadX and MIPS* (pp. 45-54). CRC Press. https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-631-6.00005-6

[11] Higham, E. H., Berge, J. (2010) Chapter 19 - Microprocessor-Based and Intelligent Transmitters. In W. Boyes (Ed.) *Instrumentation Reference Book* (4th Edition) (pp. 219-251). Editorial Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8308-1.00019-X

[12] Jesshope, C. (2003). *Multi-threaded microprocessors–evolution or revolution*. 8th Asia-Pacific Conference on Advances in Computer Systems Architecture (ACSAC). Aizu-Wakamatsu, Japan. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39864-6_4

[13] Schlett, M. (2000). Embedded microprocessors: Evolution, trends, and challenges. *Advances in Computers, 52,* 329-379. https://doi.org/10.1016/S0065-2458(00)80021-2

[14] Barthel, D. (1997). Architecture for microprocessors and DSPs. *Microelectronic Engineering, 39* (1-4), 255-262. https://doi.org/10.1016/S0167-9317(97)00180-9

[15] Swann, P. (1987). A decade of microprocessor innovation: an economist's perspective. *Microprocessors and Microsystems, 11* (1),49-59. https://doi.org/10.1016/0141-9331(87)90333-4

[16] Wagner, F., Nicoud, J. D. (1987). On the notation of CALM — common assembly language for microprocessors. *Computer Standards & Interfaces, 6* (4), 455-462. https://doi.org/10.1016/0920-5489(87)90026-2

[17] López Sánchez, C. D. (2022). *Diseño y simulación de un microprocesador para sistemas embebidos basado en la ISA RISC-V* (Proyecto de Fin de Grado). Universidad Politécnica de Madrid, España. https://oa.upm.es/70478/

[18] Rodríguez Gutiérrez, L. M., Vargas-Hernández, J. G. (2019). Ventaja competitiva de Intel en el segmento de los microprocesadores. *Revista En-Contexto, 8* (12), 135–151. https://doi.org/10.53995/23463279.665

[19] Khan, F. H., Pasha, M. A., Masud, S. (2021). Advancements in microprocessor architecture for ubiquitous AI—An overview on history, evolution, and upcoming challenges in AI implementation. *Micromachines, 12* (6), 665. https://doi.org/10.3390/mi12060665

© RITI. CC BY-NC

[20]Figueroa Nacimba, L. D. (2019). *Aplicación de un sistema con microprocesadores para potenciar la enseñanza aprendizaje de sistemas digitales en la carrera de ingeniería en sistemas computacionales* (Bachelor's thesis). UNESUM, JIPIJAPA. http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1548

[21]Casas Alonso, C. (2019). *Sistema de control basado en microprocesador para el aprendizaje de sistemas digitales complejos* (Tesis de Grado). Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Manabí, Ecuador. http://hdl.handle.net/10016/30230

[22]Isaza-González, J. I. (2018). *Aportaciones a la tolerancia a fallos en microprocesadores bajo efectos de la radiación* (Tesis Doctoral). Universida de Alicante, España. http://hdl.handle.net/10045/90359

[23]Chuquimarca Jimenez, L., Suárez Ricardo, P., López Silva, F. (2021). Simulación electrónica del microprocesador GAL22V10 mediante el software Proteus basado en VHDL para virtualizar circuitos integrados. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, *8* (1), 107-115. https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7662

[24]Martinez del Pezzo, H., Frati, F. E., Robador, E., Rios, C., Pozo, M. (2015). *Cluster de microprocesadores RISC para problemas de agricultura de precisión*. XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC), Salta, Argentina. http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/46172

[25]Delgado Del Carpio, M. J. (2019). *Diseño e implementación de un microprocesador para PLC sintetizado en FPGA y su interfaz con la PC para optimizar tiempos de respuesta* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de San Agustón de Arequipa, Perú. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11009

[26]Barahona, A., Salazar, J., Soria Colina, M., Novoa Guamán, E., Caina, D., Pérez, F. (2021). Diseño e Implementación de Sensores Autónomos Inalámbricos para Sistemas Eléctricos de Protección Utilizando Microprocesadores de Bajo Consumo de Potencia. *Revista Politécnica*, *48* (1), 31-42. https://doi.org/10.33333/rp.vol48n1.03

[27]Cano Ladino, F. K. (2020). *Implementación de dispositivos ARM sobre FPGAs de Xilinx* (Trabajo de Fin de Máster). Universdad de Alcalá, España.. http://hdl.handle.net/10017/44989

[28]Oroz de Gaetano, A. (2019). *Microprocesador RISC basado en MIPS32 con conectividad AMBA AHBE-Lite* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina. http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4969

[29]Hidalgo González, G. (2019). *Programación mediante herramientas visuales de microprocesadores digitales de señal (DSP) para aplicaciones de convertidores electrónicos de potencia* (Trabajo Fin de Grado). Universidad de Sevilla, España. https://hdl.handle.net/11441/94203

[30]Ramos Amo, A. (2018). *Diseño e implementación de técnicas de tolerancia a fallos para el uso de un microprocesador en misiones espaciales* (Tesis Doctoral). Universidad Antonio de Nebrija. https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=298361

© RITI. CC BY-NC