

Inteligencia Artificial y sus subcampos de estudio: una revisión histórica

Artificial Intelligence and its research sub-fields: A historical review

Zandor Yandari Sánchez Agreda^{1,a}

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática. Lima, Perú

^a Autor de correspondencia: zandor.sanchez@unmsm.edu.pe, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1174-638X>

Resumen

El desarrollo de la Inteligencia Artificial ha impactado significativamente diversos sectores de la sociedad, incluyendo el ámbito empresarial, académico y gubernamental. Los avances recientes han sido posibles gracias a las contribuciones del pasado. Esta revisión histórica explora diversos desarrollos de la Inteligencia Artificial, desde su concepción en la mitología griega hasta los últimos desarrollos de 2023, organizados en cuatro fases. La primera fase, Concepciones Antiguas, aborda las nociones tempranas de la Inteligencia Artificial en la mitología griega y los primeros autómatas desarrollados. La segunda fase, Inicios de la Inteligencia Artificial Moderna, examina los primeros avances de la investigación científica formal de la Inteligencia Artificial. La tercera fase, Expansión y Retrocesos, está marcada por una expansión en áreas clave como los Sistemas Expertos. La cuarta fase, Resurgimiento de la Inteligencia Artificial, corresponde a la revitalización del campo, impulsada por el aprendizaje profundo. A través de un análisis cronológico de más de 150 fuentes de información, incluyendo artículos científicos, libros y documentos históricos, esta revisión proporciona una visión integral de la evolución de la Inteligencia Artificial. Además, el trabajo describe algunas soluciones de Inteligencia Artificial aplicadas en el ámbito empresarial y gubernamental peruano.

Palabras clave: Historia de la Inteligencia Artificial, Subcampos de la Inteligencia Artificial, Evolución de la Inteligencia Artificial.

Abstract

The development of Artificial Intelligence has had a significant impact on various sectors of society, including business, academia, and government. Recent advancements have been made possible by contributions from the past. This historical review explores key developments in Artificial Intelligence, from its conception in Greek mythology to the latest innovations of 2023, organized into four phases. The first phase, Ancient Conceptions, addresses early notions of Artificial Intelligence in Greek mythology and the first automata developed. The second phase, The Beginnings of Modern Artificial Intelligence, examines the initial advancements in formal Artificial Intelligence research. The third phase, Expansion and Setbacks, is marked by growth in key areas such as Expert Systems. The fourth phase, Resurgence of Artificial Intelligence, corresponds to the field's revitalization, driven by deep learning. Through a chronological analysis of more than 150 information sources, including scientific articles, books, and historical documents, this review provides a comprehensive overview of Artificial Intelligence evolution. Additionally, the work describes several Artificial Intelligence solutions implemented across Peruvian business and governmental spheres.

Keywords: History of Artificial Intelligence, Subfields of Artificial Intelligence, Evolution of Artificial Intelligence.

Recibido: 27-09-2023 - Aceptado: 16-09-2024 - Publicado: 30-12-2024

Citar como:

Sánchez Agreda, Z. (2024). Inteligencia Artificial y sus subcampos de estudio: una revisión histórica. *Revista Peruana de Computación y Sistemas*, 6(2):95-110. <https://doi.org/10.15381/rpcs.v6i2.28857>

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Peruana de Computación y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

1. Introducción

La Inteligencia Artificial, también conocida como IA, es un campo amplio, dinámico y de rápido crecimiento con influencia en un gran número de industrias a nivel mundial. Muchas soluciones de Inteligencia Artificial han sido desarrolladas para diferentes rubros como salud, agricultura, finanzas, marketing, entre otros. Por consiguiente, la Inteligencia Artificial es potencialmente considerada como una Tecnología de Propósito General (GPT por sus siglas en inglés) [1]. Años atrás, la computación fue el avance tecnológico más importante de nuestra sociedad [2]; hoy, el avance más importante es la Inteligencia Artificial debido a su impacto en la vida humana y acelerado crecimiento.

Las investigaciones realizadas en Inteligencia Artificial abarcan lo teórico y práctico. Conocer el alcance y los desarrollos concretados en este campo pueden ayudar a los profesionales de diversas áreas, como la académica, empresarial y gubernamental, a entender y comprender cómo ha evolucionado dicho campo a lo largo del tiempo. Aunque la Inteligencia Artificial sigue en constante evolución y desarrollo para crear un sistema similar al cerebro humano, el enfoque que se le da, hoy en día, está asociado a lo que puede hacer. En otras palabras, el principal objetivo no es llegar a simular todo el funcionamiento del cerebro humano, sino enfocarse en una habilidad del ser humano que pueda ser mejorada artificialmente [3]. Por lo tanto, y debido a su aplicación en varios sectores, el presente artículo utiliza el modelo de gestión de información ascendente o "bottom-up" para analizar las diferentes fuentes de información recopiladas.

El propósito de este trabajo es contestar las siguientes preguntas de investigación: (1) ¿Cuál definición en la literatura describe al campo de la Inteligencia Artificial? (2) ¿Cuáles investigaciones contribuyeron con el desarrollo de la Inteligencia Artificial? (3) ¿Cuáles son los tipos y subcampos de estudio de la Inteligencia Artificial? (4) ¿Cuáles son las aplicaciones de Inteligencia Artificial en el Perú? De tal forma, los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Proponer una definición descriptiva de Inteligencia Artificial
- Revisar la literatura existente de los principales desarrollos de Inteligencia Artificial desde su concepción
- Identificar los principales tipos y subcampos de estudio de la Inteligencia Artificial
- Identificar las aplicaciones de Inteligencia Artificial en el Perú

El presente artículo examina los métodos, enfoques y técnicas que han sido fundamentales en el desarrollo de la Inteligencia Artificial, como el Aprendizaje Automático y los Sistemas Expertos. Al analizar la evolución de estas

tecnologías desde sus inicios, se destacan no solo los avances que han permitido su mejora, sino también las combinaciones de métodos que han potenciado su aplicabilidad en la actualidad. Este enfoque histórico no solo muestra cómo los conceptos iniciales siguen influyendo en las innovaciones contemporáneas como Chat GPT, sino que también permite entender cómo podemos desarrollar aplicaciones que eran impensables décadas atrás. Comprender este progreso es esencial para mejorar las soluciones actuales y aprovechar el potencial de la inteligencia artificial en diversos contextos.

El presente artículo está dividido en los siguientes puntos: definición, historia, tipos, subcampos, aplicaciones en el Perú y conclusiones.

2. Definición de Inteligencia Artificial

Alan Turing definió el comportamiento inteligente de una computadora de la siguiente manera: la habilidad para alcanzar los mismos niveles de rendimiento que un humano al momento de realizar tareas cognitivas [4]. Otros autores afirman que la Inteligencia Artificial es una habilidad del ser humano, por ende la definen como la ciencia e ingeniería relacionada con el entendimiento computacional de acciones inteligentes para crear máquinas con la habilidad de "pensar" [5]. No obstante, algunos sostienen que la Inteligencia Artificial es un sistema con las capacidades para percibir y adaptarse a un determinado entorno, y poder llevar a cabo un conjunto de acciones que maximicen sus probabilidades de supervivencia [6]. Es preciso señalar que la Inteligencia Artificial tiene sus bases en una combinación de campos de estudio como la neurociencia, psicología, matemáticas e ingeniería [7]. Por consiguiente, se van a proponer muchas definiciones desde cada uno de los campos que conforman dicha base, algunas más complejas que otras. Sin embargo, se propone una definición propia, tomando como base la literatura analizada y el uso adecuado de un diccionario.

Tabla 1
Definición de Inteligencia Artificial según Autores

Autor	Definición de Inteligencia Artificial
Alan Turing	Habilidad para alcanzar los mismos niveles de rendimiento que un humano al momento de realizar tareas cognitivas
S. Russell	Ciencia e ingeniería relacionada con el entendimiento computacional de acciones inteligentes para crear máquinas con la habilidad de "pensar"
A. Kayid	Sistema con las capacidades para percibir y adaptarse a un determinado entorno, maximizando sus probabilidades de supervivencia
Definición propuesta	Habilidad de una máquina para aprender y entender determinados problemas con el fin de resolverlos

Por un lado, la "inteligencia humana", un sustantivo compuesto, es la habilidad para entender y aprender diferentes cosas [8]. Por otro lado, la "inteligencia", un sustantivo simple, es la habilidad de pensar y entender antes de hacer las cosas por instinto o automáticamente [9][10]. Por lo tanto, esta última definición permite una mayor flexibilidad en el uso del término "inteligencia", dado que no se asocia como una habilidad únicamente humana.

El análisis de esta última definición permite conocer que el término "pensar" representa una actividad del cerebro para evaluar un problema o crear una idea, según el Instituto Nacional de Trastornos Neurológicos y Accidentes Cerebrovasculares [11]. Por lo tanto, como definición propuesta, la "inteligencia artificial" es la habilidad de una máquina para aprender y entender determinados problemas con el fin de resolverlos

3. Historia de la Inteligencia Artificial

Fase 1: Concepciones Antiguas (700 a.C. - Siglo XIX)

La primera concepción de Inteligencia Artificial tuvo lugar en la mitología griega alrededor del año 700 a.C. [12]. Dicha concepción se representó con Talos, un autómatas creado por Hefesto para proteger Creta, según escritos de Hesíodo. Además, Hefesto creó otras entidades artificiales como una armada autónoma, un dron en forma de águila, un sabueso mecánico y demás asistentes personales, entre los que destaca Pandora, la primera mujer artificial [13][14]. A lo largo de los siglos, diversas civilizaciones también desarrollaron autómatas, con el objetivo de automatizar tareas de bajo esfuerzo cognitivo. Herón de Alejandría, por ejemplo, construyó el teatro mecánico griego alrededor del año 70 d.C. [15]. En 1200 d.C., se desarrolló la primera banda robótica [16]; y, en 1780, Pierre Jaquet-Droz introdujo los primeros juguetes autónomos [17].

En 1783, Wolfgang Kempelen diseñó y ensambló un robot que maravilló a los miembros de la Academia de Ciencias. El robot, conocido como Mechanical Turk, podía jugar ajedrez, y por ello se presentó en varias ciudades de Europa durante las siguientes décadas. En ese tiempo, varios personajes históricos se enfrentaron al robot, siendo Napoleon Bonaparte, Edgar Allan Poe, Benjamin Franklin y François André Danican Philidor los más destacados. Charles Babbage, a quien se le atribuye la creación del primer diseño conceptual de una computadora, afirmó haber quedado cautivado con dicho robot. Sin embargo, se descubrió que el robot no era totalmente autónomo, sino la suma de un jugador humano oculto, un brazo mecánico articulado y una serie de enlaces magnéticos. Durante años, científicos e ingenieros creyeron en la inteligencia del robot, dado que la idea de una Inteligencia Artificial, en sí misma, era fascinante [18].

Fase 2: Inicios de la Inteligencia Artificial Moderna (1940s - 1950s)

Siglo y medio después, la fantasía de crear un sistema inteligente se volvió realidad con los conocimientos

científicos del momento. De este modo, el estudio de la Inteligencia Artificial empezó en 1948 con los trabajos de Alan Turing, considerado uno de los padres de la Inteligencia Artificial, quien afirma, a través del artículo "Intelligent Machinery", que una máquina puede simular con mucha precisión el comportamiento de la mente humana [19]. No obstante, la literatura muestra que Walter Pitts y Warren McCulloch, este último considerado el segundo padre de la Inteligencia Artificial, desarrollaron, en 1943, el primer modelo computacional para una red neuronal [20]. De igual manera, en 1945, Vannevar Bush propuso un sistema que incrementase el conocimiento y entendimiento del ser humano [21]. Es preciso señalar que Alan Turing hizo la primera referencia a una inteligencia computacional en una clase pública alrededor de 1947 [22] y McCulloch fue un neurólogo, psicólogo y filósofo estadounidense.

En 1950, Shannon Claude desarrolló la primera computadora con la capacidad de jugar ajedrez, estableciendo las bases del uso de la heurística para buscar soluciones óptimas a determinados problemas [23]. Ese mismo año, Alan Turing propuso la prueba de Turing en un artículo académico. Esta prueba consiste en un moderador y dos participantes, en donde el primero debe reconocer, a través de un conjunto de preguntas, cuál de los dos participantes es una máquina [4]. En 1951, Christopher Strachey escribió el primer programa de Inteligencia Artificial que jugaba damas [22]. En aquel año, Marvin Minsky y Dean Edmonds desarrollaron SNARC, una máquina de redes neuronales con 3000 tubos de vacío que simulaban un conjunto de 40 neuronas [24]. En dicho desarrollo, unas ratas simuladas aprendieron a resolver un laberinto. En 1952, Anthony Oettinger presentó a Shopper, el primer programa de aprendizaje automático que simulaba actividades de compra, utilizando la técnica de rote learning [22]. En el transcurso de ese año, Arthur Samuel escribió un juego de damas, el primer software de su clase en integrar Inteligencia Artificial en los Estados Unidos [22]; y, en 1955, extendió las capacidades del juego desarrollado por Strachey, permitiendo que aprendiera por su cuenta con base en la experiencia [22]. En 1954, Belmont Farley y Wesley Clark simularon, por primera vez, el aprendizaje por refuerzo de una red neuronal de 128 neuronas en una computadora digital, con el objetivo de reconocer simples patrones en un conjunto de datos [25].

La Inteligencia Artificial se empezó a considerar un campo de estudio a partir de 1956, marcando el fin de la primera era de los sistemas inteligentes. Es preciso señalar que el término "Inteligencia Artificial" se acuñó en el Proyecto de Investigación de Verano de la Universidad de Dartmouth [26]. Este evento reunió a expertos como Marvin Minsky, Claude Shannon y John McCarthy, este último considerado otro de los padres de la Inteligencia Artificial.

En 1958, McCarthy propuso, a través del artículo "Programa con Sentido Común", un programa destinado a la búsqueda de soluciones para problemas generales que pudieran surgir en el entorno [27]. Un año después,

en 1959, Minsky desarrolló el esquema de Marcos, también conocido como Frames, que supuso una gran contribución a la ingeniería del conocimiento [28]. Los marcos ofrecían una forma natural y concisa de representar el conocimiento sobre un objeto o concepto [7]. Ese mismo año, Newell y Simon, con el objetivo de simular el pensamiento humano, crearon el primer programa que podía resolver problemas de forma general utilizando la lógica formal [18]. Este programa fue llamado el Solucionador de Problemas Generales; no obstante, fallaba al resolver problemas complejos debido al uso ineficiente del tiempo y espacio de memoria.

Fase 3: Expansión y Retrocesos (1960s - 1980s)

En 1961, Unimate fue el primer robot industrial en introducirse a la línea de ensamblaje automovilístico de General Motors [29]. Un año después, Frank Rosenblatt demostró la teoría de convergencia del perceptrón con el Perceptrón Mark 1. Este trabajo fue considerado como una mejora importante en los métodos de aprendizaje, dado que permitía que los algoritmos aprendieran a través de la prueba y error; es decir, se podían ajustar los pesos de las conexiones de la red [7]. Alrededor de 1964, Danny Bobrow desarrolló la primera computadora que entendía el lenguaje natural [30]. En 1965, Joseph Weizenbaum desarrolló ELIZA, un chatbot que respondía preguntas a través del procesamiento de lenguaje natural [31]. En el mismo año, Lotfi Zadeh desarrolló la teoría de conjuntos difusos, utilizada posteriormente en los Sistemas Expertos [32].

En 1966, John von Neumann, considerado el tercer padre de la Inteligencia Artificial [7], realizó importantes contribuciones al campo de la inteligencia artificial con sus trabajos sobre los autómatas artificiales, el desarrollo del Computador e Integrador Numérico Electrónico (ENIAC) y el diseño de la Calculadora Automática de Variables Discretas Electrónicas (EDVAC), este último influenciado por McCulloch [33]. En 1967, ingenieros del MIT crearon el MacHack VI, el primer computador en competir en un torneo de ajedrez [18]. Alrededor de 1969, Charles Rosen desarrolló SHAKEY, el primer robot móvil de propósito general [34]. Ese mismo año, Ed Feigenbaum, Bruce Buchanan y Joshua Lederberg desarrollaron DENDRAL para identificar moléculas orgánicas en Marte [35]. Este último proyecto consolidó a Feigenbaum como el padre de los Sistemas Expertos.

A finales de los años 50, los investigadores intentaban desarrollar sistemas de propósito general; es decir, sistemas con la capacidad de resolver cualquier tipo de problema. No obstante, una de las limitaciones de estos sistemas radicaba en la falta de conocimiento acerca del problema que se quería resolver. Por tal motivo, Feigenbaum diseñó un modelo para resolver problemas específicos mediante un conocimiento profundo del dominio. Antes de los Sistemas Expertos, la mayoría de los sistemas inteligentes aplicaban una estrategia de búsqueda que intentaba diferentes combinaciones para resolver un problema; no obstante, en la práctica, solo funcionaba para problemas pequeños debido a la limitada capacidad de almacenamiento de los dispositivos.

En la búsqueda de sistemas inteligentes con objetivos más precisos, dejando de lado los sistemas de propósito general, los académicos utilizaban diversos métodos como reglas lógicas, estadísticas y redes neuronales. Sin embargo, en 1969, las redes neuronales dejaron de tomar importancia debido a las limitaciones computacionales del perceptrón de una capa, estudiadas por Marvin Minsky y Seymour Paper [18]. Debido a las dificultades mencionadas y a las altas expectativas que no se llegaron a concretar, muchos gobiernos y empresas dejaron de financiar proyectos asociados a los sistemas inteligentes, dando inicio al primer invierno de la Inteligencia Artificial [36] [37].

Durante la década de 1960 y 1970, Ingo Rechenberg y Hans-Paul Schwefel introdujeron Estrategias Evolutivas como método de optimización [38]. En 1975, Holland desarrolló el concepto de Algoritmos Genéticos, basados en el Teorema de Esquema, que propone la mejora continua de los esquemas originales [39][40]. Posteriormente, en 1988 y 1989, Goldberg amplió el desarrollo de los algoritmos genéticos en áreas como la búsqueda, la optimización y el aprendizaje automático [41]. Estas investigaciones fueron fundamentales para el surgimiento de la programación genética, la cual busca resolver problemas mediante la creación de nuevos programas computacionales.

En 1972, De Dombal desarrolló un sistema, basado en el Teorema de Bayes, para diagnosticar las causas de las molestias abdominales [42]. En 1976, Edward Shortliffe, Feigenbaum y Bruce Buchanan desarrollaron MYCIN, un Sistema Experto con capacidad para detectar enfermedades infecciosas en la sangre [43]. Este sistema estaba conformado por 450 reglas independientes representadas en condicionales if-then. Ese mismo año, la Universidad Carnegie Mellon desarrolló el primer programa que entendía 1000 palabras diferentes [44]. En 1979, se desarrolló EMYCIN; este sistema, a diferencia de su antecesor, podía adaptarse a diferentes dominios a través de nuevas reglas [45]. A finales de los años 70, también se desarrolló PROSPECTOR, un Sistema Experto, conformado por más de 1000 reglas lógicas, para exploraciones mineras [46].

En 1980, Geoff Hinton desarrolló un algoritmo para entrenar redes neuronales con múltiples capas [18]. Seis años después, la Universidad de Carnegie Mellon desarrolló el primer vehículo autónomo, conocido como Navlab 1 [47]. Ese mismo año, en Europa, Ernst Dickens desarrolló la primera van completamente autónoma; es decir, el vehículo era capaz de conducirse sin intervención humana [48]. Además, se desarrollaron Sistemas Expertos en la industria militar para simuladores de combate y ayuda humanitaria [49]. En el mismo período, Sejnowski y Rosenberg desarrollaron NETtalk, un sistema que aprendió a leer en voz alta [50]. En 1989, se desarrolló el primer vehículo autónomo basado en redes

neuronales [51]. Durante los años 90, el desarrollo de los Sistemas Expertos creció más de 12 veces [7] debido a la masificación de la computadora personal [52].

Los sistemas expertos son difíciles de verificar y validar; además, carecen de la capacidad de aprender desde la experiencia. El desarrollo de un sistema experto que tiene conocimientos intermedios del dominio dura entre 5 a 10 años [7]. Aunque las redes neuronales habían perdido relevancia, algunos expertos continuaron trabajando en dicha área. En 1980, Grossberg propuso la teoría de resonancia adaptativa como base de una nueva red neuronal [53]. Dos años después, Hopfield, considerado el reinventor del estudio de las redes neuronales, propone las redes neuronales con retroalimentación [54]. En 1983, Sutton y Anderson publicaron su estudio sobre el aprendizaje por refuerzo [55]. A mitad de la década del 80, el estudio de las redes neuronales resurgió con la popularidad de los algoritmos de backpropagation desarrollados por Bryson y Ho en 1969 [56], y reinventados, en 1986, por Rumelhart y McClelland en su trabajo de procesamiento distribuido paralelo [57]. En 1986, Kohonen desarrolló los mapas autoorganizados para la visualización de datos mediante reducción de dimensiones [58]. Posteriormente, LeCun [59] y Parker desarrollaron un modelo de backpropagation en 1987 y un modelo de aprendizaje lógico en 1988, respectivamente. Cabe destacar que los algoritmos de backpropagation se convirtieron en la técnica más adecuada para entrenar perceptrones multicapa; sin embargo, Broomhead y Lowe estudiaron una alternativa conocida como Red Neuronal de Avance o Feedforward Neural Network [60].

Fase 4: Resurgimiento de la Inteligencia Artificial (1990s - Presente)

A partir de 1990, debido a la limitada aplicabilidad y flexibilidad de los sistemas expertos, comenzó el segundo invierno de la Inteligencia Artificial [36]. En ese mismo período, Pearl y Cheeseman aplicaron la teoría de probabilidad, a través de las redes bayesianas, para permitir el aprendizaje desde la experiencia [7]. En 1991, se desarrollaron las redes neuronales recurrentes, un modelo con la capacidad de almacenar patrones a lo largo del tiempo [61]. De forma gradual, las redes neuronales empezaron a ganar participación en el ámbito académico, dado que ofrecían una interacción más natural con el mundo real en comparación con los sistemas de razonamiento simbólico o expertos. En otras palabras, una red neuronal puede aprender ciertas reglas, adaptarse al entorno o detectar patrones, manejando información difusa e incompleta. Algunos profesionales reemplazaron los sistemas expertos con soluciones basadas en redes neuronales, mientras que otros las utilizaban de manera complementaria; es decir, las redes neuronales extraían el conocimiento oculto en un conjunto de datos con el objetivo de obtener las reglas para los sistemas expertos [62]. Asimismo, las redes neuronales servían para revisar y corregir las reglas de un sistema experto [63].

En 1990, con el objetivo de maximizar la eficiencia y seguridad del tráfico europeo, se desarrolló Eureka

Prometheus, el primer vehículo autónomo utilizando visión computacional psicótica [64]. En 1994, aumentó el interés por la programación genética computacional como método optimizado para buscar soluciones desde una única perspectiva, desplazando modelos como el aprendizaje automático, las redes neuronales o los sistemas lógicos [65]. Un año después, Vapnik y Cortes desarrollaron las máquinas de vectores de soporte (SVM) [66]. Este nuevo aporte mejoró los resultados de la teoría de Bayes, dado que tenía una mayor exactitud y rapidez. En 1998, la red neuronal convolucional empezó a ganar popularidad debido a los buenos resultados de LeNet en el reconocimiento de caracteres escritos a mano [67]. En 1997, IBM Deep Blue derrotó al mejor jugador de ajedrez del mundo, gracias a su capacidad para procesar 200 millones de movimientos por segundo [68]. En 1999, Sony desarrolló el primer robot con inteligencia artificial aplicada a la robótica [69]. Ese mismo año, se desarrolló el primer programa que entendía las emociones humanas como la frustración [70].

En 2010, se desarrolló Quill, con el objetivo de generar narrativas breves [71]. Un año después, IBM Watson derrotó a dos de los mejores jugadores de Jeopardy, utilizando Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP) y una estrategia de Preguntas y Respuestas (QA) [72]. En 2012, Hinton ganó el desafío ImageNet, desarrollando el mejor algoritmo de reconocimiento de imágenes [73]. En 2014, se desarrollaron las redes generativas antagónicas para mejorar el rendimiento de las redes neuronales recurrentes [74]. Ese mismo año, en La Real Sociedad de Londres para el Avance de la Ciencia Natural, Eugene Goostman fue reconocido como el primer chatbot en pasar la prueba de Turing [75]. En 2016, AlphaGo venció al campeón mundial de Go, Lee Sedol, utilizando redes neuronales y aprendizaje por refuerzo [76]. Tres años después, se desarrolló un sistema experto para mejorar el tratamiento de úlceras por presión [77]. En 2020, se presentó GPT-3, un sistema con la capacidad de producir textos que simulan la redacción humana [78]. Dos años más tarde, se desarrolló LaMDA, diseñado para mantener una conversación fluida con una persona [79].

A lo largo de los años, dos enfoques resaltan en el campo de la inteligencia artificial: sistemas expertos y redes neuronales. Por un lado, los sistemas expertos suelen manejar datos imprecisos, utilizando herramientas como la teoría de Bayes para gestionarlos. Sin embargo, algunos utilizan la lógica difusa porque las personas no piensan en términos de probabilidad, sino en términos de frecuencia, como "ocasionalmente", "frecuentemente", "algunas veces", entre otros. La lógica difusa permite capturar el significado de las palabras, el razonamiento humano y la toma de decisiones, mejorando drásticamente el modelado cognitivo. Por otro lado, las redes neuronales son sistemas con la capacidad de aprender a partir de la experiencia. Aunque su desarrollo estuvo ralentizado por las limitaciones computacionales de las décadas de 1960 y 1970, su resurgimiento ha permitido crear sistemas adaptables a cualquier entorno.

4. Tipos de Inteligencia Artificial

En esta sección se describen brevemente los tipos de Inteligencia Artificial desarrollados hasta la actualidad.

Inteligencia Artificial Limitada, ANI por sus siglas en inglés, o también llamada Inteligencia Artificial Débil. Este tipo de inteligencia se caracteriza por tener la capacidad para resolver una tarea específica [18]. Asimismo, algunos autores mencionan que este tipo de inteligencia debe ser considerada una simple herramienta, así como las herramientas que se tienen en el hogar [80]. La diferencia con los programas tradicionales de computadora radica en la superioridad de esta herramienta para realizar dicha tarea, tomando como punto de partida el rendimiento del ser humano para llevar a cabo la misma tarea. Por ejemplo, un programa con la capacidad de jugar ajedrez o un sistema de recomendación son dos soluciones de este tipo de inteligencia.

Inteligencia Artificial General, AGI por sus siglas en inglés, o también llamada Inteligencia Artificial Fuerte. Este tipo de sistema puede llevar a cabo todas las tareas cognitivas que un humano puede realizar, pero con más rapidez y sencillez [18]. Además, a diferencia de la inteligencia artificial débil, muchos autores afirman que un sistema con inteligencia artificial general no debe ser considerado una herramienta, sino una mente que tenga noción de las herramientas que se le pueda llegar a brindar [80]. En otras palabras, se hace referencia a un sistema con capacidad de decisión para realizar una determinada tarea, tomando en cuenta las variables del entorno. Por ejemplo, y según las fuentes analizadas, se considera un tipo de inteligencia artificial general a los robots humanoides bípedos manejados por una red neuronal, dado que son los más cercanos a aprender y adaptarse a un determinado entorno [81].

La **Superinteligencia Artificial**, ASI por sus siglas en inglés, es conocida como un sistema con capacidades y habilidades superiores al ser humano [82]. Asimismo, otros expertos afirman que engloba la capacidad de un programa de computadora para mejorarse rápidamente, tomando como base las habilidades del ser humano [18]. Aún no se han hecho avances para lograr este tipo de inteligencia; no obstante, el área de la computación genética y evolutiva puede cimentar el estudio para este tipo de sistemas. En la actualidad, no existe una superinteligencia artificial, dado que su logro depende del conocimiento de otras áreas y características del cerebro humano como la conciencia [83].

Es preciso señalar que existe un grupo diferente de tipos propuesto por Arend Hintze [84], profesor de Biología Integrada y Ciencias de la Computación de la Universidad del Estado de Michigan, que se puede encontrar en la literatura; no obstante, dicha propuesta se distancia del sentido tecnológico que se le da a la Inteligencia Artificial en el presente artículo.

5. Subcampos de Estudio de la Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial es un campo de estudio interdisciplinario en donde participan diversas áreas

académicas, como la neurociencia, la psicología, las matemáticas, entre otras, por ende el número de subcampos puede variar según el punto de vista académico. En el presente artículo, se buscará aportar una lista actualizada de subcampos, la cual estará conformada por los más conocidos y estudiados. De esta forma, los subcampos de estudio de la Inteligencia Artificial son los siguientes:

- Aprendizaje Automático
- Procesamiento de Lenguaje Natural
- Sistemas Expertos
- Robótica
- Visión Computacional
- Búsqueda y Planificación
- Optimización

Es importante señalar que, en algunas fuentes de información, se considera a la Computación Genética y Evolutiva un subcampo de la Inteligencia Artificial. No obstante, en el presente artículo, al igual que en muchos otros, la Computación Genética y Evolutiva está considerada en el subcampo de Optimización, dado que la definición de este último engloba los objetivos de la Computación Genética y Evolutiva [85]. Del mismo modo, algunos autores consideran a las Redes Neuronales un subcampo de la Inteligencia Artificial; sin embargo, en el presente artículo se le considera como parte del Aprendizaje Profundo o Deep Learning, el cual es un tipo de Aprendizaje Automático [86].

I. Aprendizaje Automático

El Aprendizaje Automático, también conocido como Machine Learning, se centra en el desarrollo de programas informáticos con la capacidad de aprender a partir de la experiencia [85]. Diversos autores lo definen como un subcampo de las ciencias de la computación que, utilizando datos y modelos estadísticos, busca resolver problemas prácticos [87]. Este subcampo engloba programas informáticos que reconocen determinados patrones en un conjunto de datos, con el objetivo de determinar las acciones a realizar [88]. Los algoritmos de este subcampo se clasifican según el tipo de aprendizaje que manejan: supervisado, no supervisado, por refuerzo o a través de redes neuronales.

Aprendizaje Supervisado: Desarrolla un modelo predictivo con base en los datos de entrada y de salida. Se distingue por utilizar un conjunto de datos etiquetados que forman parte del proceso de entrenamiento del algoritmo. Durante este entrenamiento, el algoritmo identifica patrones en los datos etiquetados, con el fin de utilizarlos para predecir las etiquetas correspondientes a datos no etiquetados [89]. En un aprendizaje supervisado, la resolución de problemas generalmente sigue una secuencia o pipeline que engloba las siguientes acciones: 1) preparar los datos a través de transformaciones, 2) ejecutar un algoritmo de aprendizaje y 3) evaluar el rendimiento del modelo entrenado usando un conjunto de datos de prueba [90].

Según la literatura, las técnicas más comunes en el aprendizaje supervisado son la clasificación y la regresión.

Por un lado, la clasificación se refiere a la tarea de asignar elementos a grupos con características comunes [91]. Un algoritmo de clasificación puede identificar patrones que representen a un grupo específico de elementos, permitiendo, por ejemplo, clasificar una imagen como perro o gato. Por otro lado, la regresión es una técnica estadística que puede ser aplicada a problemas de predicción; no obstante, esta solo puede ser usada cuando los datos de salida son continuos en lugar de discretos [92].

Aprendizaje No Supervisado: Este tipo de aprendizaje se centra en descubrir relaciones intrínsecas o características ocultas en un conjunto de datos no etiquetados [93]. Mayormente es utilizado para encontrar patrones ocultos que los seres humanos no pueden observar con facilidad [94]. Por tal motivo, este modelo presenta una limitada o nula intervención humana en el proceso de aprendizaje. Asimismo, este modelo permite una mayor flexibilidad para encontrar nuevos conocimientos, en lugar de replicar los métodos de aprendizaje supervisado [95].

Según la literatura, existen diversas técnicas para llevar a cabo la implementación de un aprendizaje no supervisado, destacando el agrupamiento, las reglas de asociación y la detección de anomalías. Por un lado, el agrupamiento o clustering organiza datos no etiquetados según sus similitudes [96]. Esta técnica revela, a través de un modelo probabilístico o un enfoque no paramétrico, estructuras ocultas en los datos, con el objetivo de dividirlos en grupos homogéneos [97]. Por otro lado, las reglas de asociación o association rules permiten generar predicciones a partir de subconjuntos de eventos pasados, utilizando la probabilidad condicionada para determinar la ocurrencia de un evento [98]. Aunque encontrar las reglas de asociación puede ser complejo, se utilizan algoritmos de aprendizaje no supervisado para lograrlo [99]. Por último, la detección de anomalías tiene como objetivo detectar irregularidades en grandes conjuntos de datos aparentemente homogéneos, como fraudes financieros, ciberataques, enfermedades cutáneas o actividades sospechosas [100]. En este contexto, una anomalía se define como una observación que se desvía significativamente del comportamiento esperado o de lo que se considera normal [101].

Aprendizaje por Refuerzo: Este enfoque permite a un agente autónomo desarrollar políticas de acción mediante la interacción con un entorno dinámico. Este tipo de aprendizaje es eficaz para la toma de decisiones secuenciales que carecen de modelos predefinidos, dado que los agentes perfeccionan sus estrategias a través del tiempo [102]. Durante este proceso, el agente, mediante iteraciones, ajusta su estrategia basándose en la retroalimentación recibida en forma de recompensas [103], mejorando el rendimiento global del sistema [104].

Entre las técnicas más comunes del Aprendizaje por Refuerzo se encuentran los algoritmos bandidos y el Q-learning. Por un lado, los algoritmos bandidos permiten desarrollar estrategias personalizadas con

una menor cantidad de experimentos, mejorando la experiencia del usuario al disminuir las pruebas adicionales [105]. Por otro lado, el algoritmo Q-learning asigna un valor a cada par de estado-acción, permitiendo aprender el valor de una acción en un estado determinado. Esta es una técnica "off-policy"; es decir, puede aprender tanto de experiencias pasadas como de políticas anteriores mientras sigue explorando nuevas acciones [106]. Según la literatura, los algoritmos de Q-learning se clasifican en dos tipos: a) agente único y multiagente y b) sincrónico y asincrónico [107] [108].

Aprendizaje Profundo: Este tipo de aprendizaje se basa en el uso de redes neuronales artificiales que poseen una gran cantidad de parámetros y capas [109]. A diferencia de los enfoques clásicos, este aprendizaje no requiere información estadística adicional y elimina los procedimientos iterativos, mejorando métricas como el error cuadrático medio [110]. Frecuentemente, este tipo de aprendizaje no necesita intervención humana, dado que comienza a aprender durante el proceso de entrenamiento [111]; no obstante, la efectividad del enfoque depende, en gran medida, de la calidad de los datos de entrenamiento [112].

En el enfoque del aprendizaje profundo, las arquitecturas más utilizadas son la Red Neuronal Recurrente (RNN), la Red Neuronal Convolutiva (CNN), la Red Generativa Adversaria (GAN) y el Modelo de Lenguaje Extenso (LLM). La Red Neuronal Recurrente permite el procesamiento de datos secuenciales o interrelacionados, dado que puede preservar información histórica de los elementos que aparecen en una secuencia [113] [114]. No obstante, algunos autores sugieren que las redes neuronales recurrentes también pueden manejar datos no secuenciales de manera eficiente [115]. Estas redes destacan en la clasificación de secuencias como la clasificación de sentimientos en una oración o el mapeo de secuencias a secuencias como la traducción automática de idiomas [113].

La Red Neuronal Convolutiva es capaz de detectar patrones mediante la extracción de características locales en imágenes, videos, audios y textos [116] [117]. Esto le permite realizar tareas como la clasificación, el procesamiento de imágenes, la detección de objetos, la segmentación semántica, entre otras [118]. La red neuronal convolutiva está conformada por una capa de entrada, una capa de salida y múltiples capas ocultas intermedias [116]. Aunque estas redes ofrecen un rendimiento notable cuando se manejan grandes cantidades de datos, explotar su máximo potencial puede resultar muy costoso en términos de recursos computacionales [119].

La Red Generativa Adversaria facilita la generación de datos nuevos y realistas que son prácticamente indistinguibles de los datos reales [120], a través de dos redes neuronales denominadas el modelo generativo y el modelo discriminativo [121]. Similar a una dinámica competitiva, el generador crea datos sintéticos similares a los datos de entrenamiento, mientras que el

discriminador intenta reconocer si esos datos son reales o falsos basándose en los datos de entrenamiento [122]. Esta red neuronal ha sido aplicada exitosamente en áreas como la visión computacional [123] y el procesamiento de imágenes [124].

Por último, el Modelo de Lenguaje Extenso tiene la capacidad de entender y generar lenguaje natural, a través del reconocimiento de relaciones y patrones complejos en los datos textuales proporcionados para el entrenamiento [125]. Este modelo desarrolla un conocimiento exhaustivo sobre la estructura y el significado del lenguaje, entrenándose con una vasta cantidad de datos heterogéneos provenientes de fuentes como artículos, sitios web, repositorios, libros escaneados, entre otras [126] [127]. La comunidad científica acuñó el término 'extenso' de este enfoque debido a los más de mil millones de parámetros que utiliza [128] para llevar a cabo tareas como la traducción automática, síntesis de texto, respuesta a preguntas, generación de texto, entre otras [129].

II. Procesamiento de Lenguaje Natural

El Procesamiento de Lenguaje Natural se enfoca en estudiar, ordenada y sistemáticamente, técnicas y algoritmos para procesar, comprender y generar lenguaje natural [130]. Algunos autores se refieren a este subcampo como Lingüística Computacional [131], dado que integra conocimientos tanto de la Lingüística como de las Ciencias de la Computación [132].

El presente artículo dividirá el Procesamiento de Lenguaje Natural en dos macroprocesos denominados preprocesamiento y procesamiento. Por un lado, el preprocesamiento prepara los datos textuales antes de ser analizados, a través de los procesos como tokenización, filtrado de palabras vacías, lematización, cálculo de frecuencia de términos, cálculo de frecuencia inversa de documento y modelado de n-gramas [133]. Por otro lado, el procesamiento abarca, según el objetivo deseado, la aplicación de algoritmos y técnicas para el análisis de los datos, por medio de procesos como la clasificación de texto, la traducción automática, el análisis de sentimiento, la corrección automática, entre otras [134].

El Procesamiento de Lenguaje Natural ha evolucionado significativamente gracias a su estrecha relación con el Aprendizaje Automático, dado que muchos de los avances alcanzados se deben a la aplicación de redes neuronales artificiales [135]. Los modelos de aprendizaje profundo, como las redes neuronales recurrentes y los transformadores, han sido fundamentales para llevar a cabo tareas como la traducción automática, el análisis de sentimientos y la generación de texto [136]. En la actualidad, el Procesamiento de Lenguaje Natural está representado en diversas aplicaciones, destacando los asistentes de voz y chatbots avanzados como Alexa y ChatGPT, respectivamente. Estas herramientas utilizan grandes volúmenes de datos para optimizar la capacidad de comprender y generar lenguaje natural [137]. Esto demuestra cómo el Procesamiento de Lenguaje Natural,

apoyado por técnicas de Aprendizaje Automático, se ha consolidado como una herramienta clave en múltiples escenarios del mundo real, mejorando significativamente la interacción entre humanos y máquinas.

III. Sistemas Expertos

Los sistemas expertos abordan y resuelven problemas de toma de decisiones mediante la aplicación de reglas establecidas por un experto humano [138]. En otras palabras, estos sistemas son eficientes para resolver problemas de ingeniería, dado que contienen el conocimiento laboral de los expertos. Es preciso señalar que los sistemas expertos tradicionales no se entrenan con un conjunto de datos; en su lugar, funcionan mediante reglas o flujos de información que el experto configura para que el sistema realice la tarea en la que el experto es competente [139].

Los Sistemas Expertos utilizan reglas de producción, redes semánticas, espacio de estados, reglas lógicas y representación orientada a objetos, con el objetivo de realizar tareas como conducir un vehículo, proporcionar pronósticos financieros, realizar procesos químicos, detectar enfermedades, asesorar procesos agrícolas, fabricar productos, entre otras [138].

Los Sistemas Expertos han avanzado hacia soluciones más flexibles y robustas, a través de la integración con técnicas de Aprendizaje Automático, superando las limitaciones de los enfoques basados en reglas estáticas y consolidándolos como herramientas clave en situaciones complejas [140]. En sistemas híbridos, el aprendizaje automático puede ser utilizado para descubrir o ajustar las reglas lógicas del sistema experto, mejorando la capacidad de adaptación a situaciones nuevas [141]. Por ejemplo, en la atención médica, los sistemas híbridos combinan el conocimiento clínico con algoritmos de aprendizaje automático para mejorar el diagnóstico y la personalización de los tratamientos [142]. Hoy en día, los sistemas expertos se utilizan en áreas como la automatización de procesos industriales, la asesoría financiera, entre otras en donde la combinación con técnicas de aprendizaje automático permite una toma de decisiones oportuna [140].

IV. Robótica

La robótica es una disciplina de ingeniería interdisciplinaria que abarca el diseño, fabricación, operación y mantenimiento de robots, humanoides o no, diseñados para brindar apoyo físico o emocional a las personas [143]. Los robots representan, en su mayoría, entidades físicas que ejecutan un conjunto finito de tareas mediante la interacción con el mundo real [144]. Estos robots suelen realizar, a través de sensores y actuadores, tareas altamente especializadas, adoptando las formas más apropiadas para su función [18][39].

Los robots están conformados por diversos componentes como sensores, actuadores, unidades de procesamiento y dispositivos de red [144]. Según la literatura, se pueden clasificar en cuatro tipos:

Interacción Humano-Afectiva como un asistente emocional, Interacción sin Fisuras entre Infraestructura y Robot como un robot que navega en un entorno, Simbiosis Humano-Robot como un exoesqueleto de rehabilitación física y, por último, Teleoperación de Robots Colaborativos como un robot quirúrgico controlado a distancia [145].

La Robótica ha progresado notablemente en la ejecución de tareas más complejas como la adaptación a entornos más dinámicos, a través de su integración con el Aprendizaje Automático y la Visión Computacional [146]. En este subcampo, numerosos avances han sido posibles debido al uso de modelos de Aprendizaje Profundo y Aprendizaje por Refuerzo, dado que permitieron a los robots aprender a partir de la interacción con su entorno [147]. En la actualidad, esta interacción se observa en los robots de Boston Dynamics, como Spot y Atlas, que utilizan técnicas de aprendizaje automático y visión computacional para mantener el equilibrio o navegar en terrenos irregulares [148]. De manera similar, el robot Optimus de Tesla está diseñado para aprender y ejecutar tareas cotidianas de la vida humana, a través de la integración de redes neuronales artificiales [149]. Esto evidencia cómo la integración de Robótica, Aprendizaje Automático y Visión Computacional está revolucionando la manera en que los robots interactúan con su entorno.

V. Visión Computacional

La visión computacional tiene como objetivo imitar el sistema visual humano, a través de modelos computacionales capaces de interpretar la información contenida en imágenes y videos [150]. En otras palabras, este subcampo permite a las computadoras interpretar su entorno visual. Estos modelos deben extraer representaciones físicas y semánticas de los datos visuales [151], con el objetivo de llevar a cabo determinadas actividades como conducir un automóvil, analizar imágenes satelitales, vigilar un perímetro, controlar la calidad de los productos y servicios, entre otras [152].

Según la literatura, la visión computacional sigue un proceso sistemático y estructurado conformado por las siguientes actividades: recopilación, procesamiento e interpretación de imágenes [150]. Es preciso señalar que, a diferencia de la visión artificial, la visión computacional es un subcampo multidisciplinario que se relaciona con la simulación del sistema visual humano.

Aunque la Visión Computacional no ha avanzado al mismo ritmo que otros subcampos, el uso de técnicas de Aprendizaje Automático ha permitido desarrollar soluciones inspiradas en el sistema visual humano [153]. Modelos como las redes neuronales convolucionales (CNN) y las redes neuronales recurrentes (RNN) han mejorado el reconocimiento de objetos, la segmentación de imágenes y el análisis de video [154]. Por ejemplo, los autos autónomos de Tesla utilizan visión computacional para identificar señales de tránsito, peatones y vehículos,

mientras que las soluciones de vigilancia de Motorola emplean algoritmos similares para detectar actividades delictivas [155]. Estas aplicaciones resaltan cómo la Visión Computacional, impulsada por el Aprendizaje Automático, se ha convertido en una herramienta esencial en los sectores automovilístico y de vigilancia.

VI. Búsqueda y Planificación

Este subcampo se centra en el estudio de técnicas para explorar y seleccionar secuencias de acciones que permitan alcanzar metas específicas en entornos complejos [156]. Los términos 'búsqueda' y 'planificación' están estrechamente relacionados, dado que el modelo más utilizado en la planificación es la búsqueda heurística de avance rápido o hacia adelante [157].

Por un lado, la planificación permite a los sistemas inteligentes lograr las metas establecidas, a través de la selección y organización de acciones en función de los resultados previstos [36]. Asimismo, la planificación involucra la selección de planes, así como la asignación de tiempo y recursos necesarios para lograr el objetivo, con base en los recursos disponibles [37]. Debido a la complejidad, el costo y el tiempo asociados al desarrollo, la planificación se utiliza en situaciones con beneficios superiores futuros [36]. Los algoritmos más utilizados en la planificación son el Árbol Aleatorio de Exploración Rápida y la Hoja de Ruta Probabilística [158].

Por otra parte, la exploración sistemática de posibles soluciones, conocida como búsqueda, es un componente clave de muchos sistemas de inteligencia artificial [159]. Un algoritmo de búsqueda es más eficiente cuando tiene una comprensión profunda y detallada del problema a resolver, dado que la eficiencia y efectividad del algoritmo dependen de la calidad y cantidad de conocimiento sobre el dominio. Según la literatura, los algoritmos de búsqueda más utilizados son el algoritmo de búsqueda informada A^* y el algoritmo de búsqueda de caminos de Dijkstra [158].

El subcampo de Búsqueda y Planificación ha desempeñado un rol clave en el desarrollo de la Robótica, permitiendo a los robots explorar y tomar decisiones de manera autónoma en entornos complejos [160]. Las técnicas y algoritmos de este subcampo, como A^* y la planificación basada en gráficos, han sido esenciales para optimizar la navegación robótica [161]. Un ejemplo contemporáneo destacado es el Rover Perseverance de la NASA, el cual aplica estas técnicas para desplazarse de manera autónoma en la superficie de Marte. El Rover combina la planificación con la percepción del entorno para explorar nuevas áreas sin intervención humana constante [162]. La evolución de este subcampo ha sido crucial para impulsar avances en la autonomía y adaptabilidad de los robots, evidenciando su impacto en misiones espaciales.

VII. Optimización

La optimización se enfoca en la toma de decisiones o elecciones que permitan obtener los mejores resultados

dentro de un conjunto de restricciones [163]. Según Boyd y Vandenberghe, un problema de optimización se define como la construcción de un problema que busca seleccionar la mejor opción entre un conjunto de alternativas [164].

En diversos campos, tanto técnicos como no técnicos, los problemas de optimización se utilizan para identificar los puntos mínimos o máximos en funciones de coste [165]. Por esta razón, la optimización es originalmente conocida como una disciplina matemática. Las técnicas de optimización más comunes incluyen algoritmos evolutivos como las estrategias evolutivas, la programación evolutiva, los algoritmos genéticos, la evolución diferencial y la optimización por enjambre de partículas [48].

La Optimización es un factor fundamental en la evolución de la Robótica porque permite a los robots realizar tareas de manera eficaz y con menor consumo de recursos [41]. Las técnicas de este subcampo, como los algoritmos genéticos y la optimización por enjambre de partículas, han sido cruciales para mejorar el control de los robots y optimizar el rendimiento en entornos dinámicos [166]. Baxter, un robot desarrollado por Rethink Robotics, utiliza técnicas de optimización para ajustar su comportamiento en tiempo real, permitiendo una mayor flexibilidad en la ejecución de tareas dinámicas en entornos industriales. Estas técnicas permiten que Baxter optimice su rendimiento en función de las condiciones específicas de la tarea, como la disposición de las piezas o la velocidad de la línea de producción [167]. Esto demuestra cómo la Optimización sigue contribuyendo a la consolidación de la robótica como una herramienta versátil en entornos industriales.

6. Aplicación de Inteligencia Artificial en el Perú

I. Sector Gubernamental

Por un lado, en el **Poder Judicial**, el magistrado del primer juzgado civil de San Juan de Miraflores ha protagonizado un hecho sin precedentes al reconocer el uso de Chat GPT, una plataforma basada en Procesamiento de Lenguaje Natural y Aprendizaje Automático, como mecanismo de razonamiento artificial en el expediente 00052-2022-18-3002-JP-FC-01 sobre alimentos, marcando así un hito en la judicatura [168]. La plataforma permitió obtener, a través de la comprensión y análisis del lenguaje, orientación en la delicada tarea de dividir la pensión alimenticia entre los padres, tomando en cuenta la capacidad económica de cada padre y otros criterios delineados por la ley. Este ejemplo demuestra cómo las aplicaciones de Procesamiento de Lenguaje Natural y Aprendizaje Automático pueden apoyar la toma de decisiones legales mediante herramientas de análisis y razonamiento.

Por otro lado, la **Central de Compras Públicas del Perú**, también conocida como Perú COMPRAS, utiliza técnicas de Aprendizaje Automático para optimizar procesos y mejorar la experiencia de los usuarios [169]. El Buscador Fichas-Producto ha mejorado

significativamente debido al uso de estas técnicas, facilitando el acceso a más de 71 mil bienes y servicios en los Catálogos Electrónicos. Estas técnicas incluyen el uso de algoritmos de clasificación para organizar los productos en categorías relevantes, mejorando la precisión y velocidad de las búsquedas. Asimismo, el renovado Cotizador Electrónico ha reducido el plazo para solicitar presupuestos de proveedores de 68 días a solo un día, optimizando los tiempos de respuesta. Además, algunas técnicas de Aprendizaje No Supervisado se utilizan para detectar anomalías en las características de los productos, asegurando la calidad y transparencia en las contrataciones.

Por otra parte, el **Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja** emplea una solución de Procesamiento de Lenguaje Natural para brindar información médica accesible a los pacientes y tutores; asimismo, esta institución explora el potencial de otras técnicas y enfoques para acelerar los diagnósticos médicos primarios [170]. La solución utiliza el modelo de lenguaje Chat GPT para abordar 14 preguntas frecuentes de los tutores, cuyas respuestas fueron evaluadas y aprobadas por un comité médico. Además, esta solución demuestra cómo las técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural permiten mejorar la comunicación y el acceso a información médica confiable en entornos hospitalarios, mientras exploran aplicaciones de nuevas técnicas y enfoques en el diagnóstico primario.

Por último, desde 2020, el **Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja** utiliza el software MEDIS para el análisis cardíaco, a través de técnicas de Visión Computacional y Aprendizaje Automático [171]. Asimismo, se han utilizado técnicas de Visión Computacional para diagnosticar escoliosis, una alteración de la curvatura de la columna vertebral, a través del ángulo de Cobb. Estos modelos de Visión Computacional permiten analizar imágenes médicas de manera automatizada, mejorando la precisión en la detección de irregularidades en la columna vertebral. La próxima fase de la investigación incluirá el entrenamiento de un algoritmo, apoyado en técnicas de Aprendizaje Automático, destinado a diagnosticar con mayor precisión los niveles y grados de escoliosis mediante un enfoque radiológico avanzado.

II. Sector Académico

Por un lado, SkillMapper, una plataforma educativa virtual, permite encontrar una variedad de recursos de alta calidad, optimizando el desarrollo de la educación a distancia. La plataforma ofrece dos funcionalidades clave, la búsqueda de cursos y la compartición de colecciones, utilizando algoritmos de Aprendizaje Automático para personalizar las recomendaciones y optimizar la búsqueda de contenido. Además, SkillMapper ha llevado a cabo experimentos con diversos modelos generativos como Chat GPT; sin embargo, el enfoque de la plataforma se orienta hacia la combinación de estas herramientas con un modelo de Aprendizaje Automático propio, con el objetivo de reducir los errores de las soluciones comerciales [172].

Por otro lado, la **Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas**, a través del curso "Globalización: enfoque cultural y económico", desafía a los estudiantes de Comunicaciones a desarrollar un pensamiento crítico mediante la redacción de ensayos reflexivos y el uso de herramientas de Procesamiento de Lenguaje Natural [173]. Los estudiantes interactúan con modelos generativos como Chat GPT para mejorar y enriquecer los textos explicativos y argumentativos, aplicando habilidades esenciales como la verificación de información, la citación de fuentes y la integración de aportes originales con las ideas de diversos autores. A través de esta interacción, las herramientas de Procesamiento de Lenguaje Natural promueven el desarrollo de competencias críticas, tales como el pensamiento analítico y la capacidad de evaluar la credibilidad de las fuentes.

Asimismo, la **Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas**, a través del curso "Taller de Televisión Interactiva" de la carrera de Comunicación Audiovisual y Medios Interactivos, introdujo herramientas de Procesamiento de Lenguaje Natural para mejorar la eficiencia y creatividad en los proyectos finales de los estudiantes [173]. Por ejemplo, se empleó Chat GPT para generar automáticamente guiones, proporcionando un punto de partida para la expansión de la creatividad estudiantil. Además, Midjourney y Stable Diffusion, soluciones basadas en el uso de redes neuronales artificiales, fueron utilizadas para generar imágenes y audios realistas, optimizando así la creación de contenido audiovisual en proyectos interactivos.

Por último, en el **Emporio Comercial de Gamarra**, las micro y pequeñas empresas han adoptado soluciones de Aprendizaje Automático para la confección de prendas de vestir [174]. Las primeras máquinas de coser inteligentes son capaces de realizar más de 200 mil tipos de costura con una sola aguja, integrando algoritmos de Aprendizaje Automático que ajustan automáticamente los parámetros de costura según el tipo de tela y diseño. Estas máquinas representan la vanguardia tecnológica en la industria textil y de confecciones, permitiendo a los talleres mejorar la eficiencia al reducir significativamente el tiempo de ajuste, las horas hombre y los costos asociados a la contratación de personal especializado.

7. Conclusiones

La revisión histórica llevada a cabo en el presente trabajo de investigación, a través de la exhaustiva revisión de una amplia cantidad de artículos enfocados en la Inteligencia Artificial, evidencia la relevancia significativa de este campo y proporciona una visión detallada del progreso logrado a lo largo de los años. A fin de entender la evolución de la Inteligencia Artificial, este artículo presenta algunos hallazgos recopilados de más de 150 fuentes de información. Los primeros estudios se enfocaron en crear una inteligencia artificial general; es decir, un sistema capaz de ejecutar

las mismas funciones cognitivas que realiza el ser humano. Sin embargo, debido a la complejidad de las capacidades humanas y los avances tecnológicos de la época, se presentaron el primer y segundo invierno de la Inteligencia Artificial, respectivamente. Por tal motivo, el enfoque cambió hacia una inteligencia artificial débil; en otras palabras, se desarrollaron sistemas inteligentes capaces de llevar a cabo una única tarea, como la traducción de texto o el entendimiento del lenguaje natural, con mayor eficiencia. Años más tarde, y debido a los avances tecnológicos, se retomaron los estudios en redes neuronales, permitiendo grandes avances como el desarrollo de Chat GPT o Grok.

Hasta la fecha, la investigación en Inteligencia Artificial se ha centrado en el enfoque del tipo limitada o débil. No obstante, este enfoque resulta insuficiente para alcanzar una Inteligencia Artificial General, debido a que carece del principio fundamental del cerebro humano. En consecuencia, se requiere un enfoque que permita entender cómo el cerebro gestiona múltiples habilidades y toma decisiones en función del entorno. Es preciso señalar que el cerebro humano toma decisiones para garantizar la supervivencia del individuo; por tal motivo, el reto radica en diseñar un modelo que permita a la Inteligencia Artificial General sobrevivir en entornos complejos, gestionando de manera eficaz las Inteligencias Artificiales Débiles.

En cuanto a la aplicación de la Inteligencia Artificial en la sociedad, las limitaciones tecnológicas actuales representarán un obstáculo significativo. El procesamiento de grandes volúmenes de contenido audiovisual será un desafío debido a los altos requerimientos de poder computacional, los cuales no están ampliamente disponibles para el público. Esto contrasta con la masificación de la computadora personal, que en su momento facilitó indirectamente el auge de las redes neuronales.

Para abordar los retos de investigación y aplicación, emergen dos áreas que podrían redefinir el campo de la Inteligencia Artificial. Primero, la Inteligencia Artificial Biológica busca desarrollar sistemas basados en una comprensión profunda del cerebro humano, facilitando una integración más natural entre lo biológico y artificial. Segundo, la Computación Cuántica promete superar las limitaciones tecnológicas actuales al procesar grandes volúmenes de datos de manera más eficiente. Estas áreas no solo ampliarán las fronteras del conocimiento, sino que también permitirán el desarrollo de soluciones innovadoras con el potencial de revolucionar la interacción entre humanos y máquinas.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi mamá, María Valentina Agreda Ulloa, por el apoyo constante y los valiosos consejos que, a través de su experiencia profesional, enriquecieron las fuentes de información de esta revisión.

Referencias

- [1] P. A. David and G. Wright, "General Purpose Technologies and Surges in Productivity: Historical Reflections on the Future of the ICT Revolution," in P. A. David and M. Thomas (eds), *The Economic Future in Historical Perspective*, British Academy Centenary Monographs, London, 2006; online edn, British Academy Scholarship Online, 31 de enero de 2012, doi: 10.5871/bacad/9780197263471.003.0005, [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [2] R. E. Delgadillo and A. Fermín-Pérez, "Acerca de computación y sus líneas de investigación," *Revista Peruana de Computación y Sistemas*, 2018. <http://dx.doi.org/10.15381/rpcs.v1i1.14852>.
- [3] B. Marr, "The Key Definitions Of Artificial Intelligence (AI) That Explain Its Importance," *Forbes*, 14 de febrero de 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/02/14/the-key-definitions-of-artificial-intelligence-ai-that-explain-its-importance/?sh=50504ed34f5d> [Accedido: Nov. 24, 2023].
- [4] A. M. Turing, "Computing Machinery and Intelligence," *Mind*, vol. 59, no. 236, pp. 433–460, 1950. [En línea]. Disponible: <http://www.jstor.org/stable/2251299>.
- [5] S. Russell et al., "Artificial Intelligence: A Modern Approach," 3rd ed, 2010.
- [6] A. Kayid, "The role of Artificial Intelligence in future technology," 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.12799.23201.
- [7] M. Negnevitsky, "Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems," Addison-Wesley, Boston, 2002.
- [8] "Human Intelligence." Collins English Dictionary Online. [En línea]. Disponible en: <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/human-intelligence>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [9] "Intelligence." Collins English Dictionary Online. [En línea]. Disponible en: <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/intelligence>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [10] "Inteligencia." (2023). Diccionario de la Real Academia Española. [En línea]. Disponible en: <https://dle.rae.es/inteligencia?m=inteligencia>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [11] National Institute of Neurological Disorders and Stroke (NINDS). (2023). "Brain Basics: Know Your Brain." National Institute of Neurological Disorders and Stroke, [En línea]. Disponible en: <https://www.ninds.nih.gov/health-information/patient-caregiver-education/brain-basics-know-your-brain>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [12] A. Shashkevich, "Stanford researcher examines earliest concepts of artificial intelligence, robots in ancient myths," *Stanford | News*, 28 de febrero de 2019. [En línea]. Disponible en: <https://news.stanford.edu/2019/02/28/ancient-myths-reveal-early-fantasies-artificial-life/>. [Accedido: 23 de noviembre 2023].
- [13] A. Mayor, "What Pandora's Box tells us about AI," *Foro Económico Mundial*, 19 de octubre de 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2018/10/an-ai-wake-up-call-from-ancient-greece/>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [14] A. Mayor, "Gods and Robots: Myths, Machines, and Ancient Dreams of Technology," Princeton University Press, 2018.
- [15] P. Steadman, "Renaissance Fun: The Machines behind the Scenes," UCL Press, 2021.
- [16] I. al-Jazari, "The Book of Knowledge of Ingenious Mechanical Devices," Springer, 1973.
- [17] T. Zielińska, "Machines Imitating Living Creatures Motion: Historical Overview," en *Proceedings of the 12th IFToMM World Congress, 2007*, International Federation of Theory of Machines and Mechanisms.
- [18] K. Hosanagar, "A Human's Guide to Machine Intelligence: How Algorithms Are Shaping Our Lives and How We Can Stay in Control," Viking, 2019.
- [19] A. M. Turing, "Intelligent Machinery, A Heretical Theory," *Philosophia Mathematica*, vol. 4, no. 3, pp. 256–260, Septiembre de 1996, doi: 10.1093/philmat/4.3.256.
- [20] W.S. McCulloch and W. Pitts, "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity," *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, pp. 115–133, 1943, doi: 10.1007/BF02478259.
- [21] V. Bush, "As We May Think," *The Atlantic Monthly*, vol. 176, no. 1, pp. 101–108, Julio de 1945. [En línea]. Disponible: <https://www.theatlantic.com/magazine/archive/1945/07/as-we-may-think/303881/>.
- [22] B.J. Copeland, "Alan Turing and the beginning of AI," *Encyclopedia Britannica*, Última actualización: 22 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence/Alan-Turing-and-the-beginning-of-AI>.
- [23] C. E. Shannon, "XXII. Programming a computer for playing chess," *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 41, no. 314, pp. 256–275, 1950, doi: 10.1080/14786445008521796.
- [24] J. Akst, "Machine Learning, 1951," *The Scientist*, 1 de mayo de 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.the-scientist.com/foundations/machine-learning--1951-65792>.
- [25] A. G. Barto, "Reinforcement Learning: Connections, Surprises, Challenges," *AI Magazine*, vol. 40, pp. 3–15, 2019, doi: 10.1609/aimag.v40i1.2844.
- [26] J. McCarthy, M. Minsky, N. Rochester, y C. E. Shannon, "A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence, August 31, 1955," *AI Mag.*, vol. 27, pp. 12–14, 2006, doi: 10.1609/aimag.v27i4.1904.
- [27] J. McCarthy, "Programs with common sense," *National Physical Laboratory, Teddington, England*, 24–27 de noviembre de 1958. (Publicado en *Proceedings of the Symposium by H. M. Stationery Office.*)
- [28] M. Minsky, "Minsky's Frame System Theory," *Theoretical Issues In Natural Language Processing*, 1975, doi: 10.3115/980190.980222.
- [29] J. Wallén, "The history of the industrial robot," *Technical report from Automatic Control at Linköpings Universitet*, 2008. [Online]. Disponible en: <http://www.control.isy.liu.se/publications>.
- [30] D. G. Bobrow, "Natural Language Input for a Computer Problem Solving System," *Massachusetts Institute of Technology, DSpace@MIT*, 1964. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1721.1/5922>.
- [31] J. Weizenbaum, "ELIZA—a computer program for the study of natural language communication between man and machine," *Commun. ACM*, vol. 9, no. 1, pp. 36–45, Enero de 1966, doi: 10.1145/365153.365168.
- [32] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965, doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.
- [33] P. Marchal, "John von Neumann: the founding father of artificial life," *Artif. Life*, vol. 4, no. 3, pp. 229–235, 1998, doi: 10.1162/106454698568567.
- [34] [34] B. Kuipers, E. A. Feigenbaum, P. E. Hart, and N. J. Nilsson, "Shakey: From Conception to History," *AIMag*, vol. 38, no. 1, pp. 88–103, Marzo de 2017, doi: 10.1609/aimag.v38i1.2716
- [35] R. K. Lindsay, B. G. Buchanan, E. A. Feigenbaum, and J. Lederberg, "DENDRAL: A Case Study of the First Expert System for Scientific Hypothesis Formation," 1993, doi: 10.1016/0004-3702(93)90068-M
- [36] B. Delipetrev, C. Tsinaraki y U. Kostić, "AI watch, historical evolution of artificial intelligence: analysis of the three main paradigm shifts in AI," *European Commission, Joint Research Centre*, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/801580>
- [37] A. Toosi, A. G. Bottino, B. Saboury, E. Siegel y A. Rahmim, "A Brief History of AI: How to Prevent Another Winter (A Critical Review)," *PET Clinics*, vol. 16, no. 4, pp. 449–469, 2021, doi: 10.1016/j.cpet.2021.07.001
- [38] D. Wierstra, T. Schaul, J. Peters y J. Schmidhuber, "Natural Evolution Strategies," 2008 *IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, pp. 3381–3387, 2008, doi: 10.1109/CEC.2008.4631255
- [39] M. Mitchell, "Genetic algorithms: An overview," *Complexity*, vol. 1, pp. 31–39, 1995, doi: 10.1002/cplx.6130010108
- [40] J. H. Holland, "Adaptation in Natural and Artificial Systems," The MIT Press, 29 de abril de 1992.
- [41] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning," Addison-Wesley, 1st ed., USA, 1989.
- [42] B. S. Todd, "An Introduction to Expert Systems," Oxford University Computing Laboratory, Oxford, UK, 1992.

- [43] L. M. Fagan, E. H. Shortliffe, y B. G. Buchanan, "Computer-based Medical Decision Making: From MYCIN to VM," 1984. [En línea]. Disponible en: <https://purl.stanford.edu/xt779dh5744>
- [44] R. Bisiani y K. Greer, "Recent improvements to the Harpy connected speech recognition system," en 1978 IEEE Conference on Decision and Control including the 17th Symposium on Adaptive Processes, IEEE, 1979.
- [45] N. J. I. Mars, C. J. Schep y A. J. Tomas, "Constructing an Expert System Using EMYCIN," en *Medical Informatics Europe 84*, R. F. H. Roger, J. L. Willems, R. R. O'Moore, y B. Barber, eds. Springer, Berlín, Heidelberg, vol. 24, serie Lecture Notes in Medical Informatics, pp. 78, 1984, doi: 10.1007/978-3-642-93264-9_78
- [46] J. Gaschnig, "Application of the PROSPECTOR system to geological exploration problems," *Machine Intelligence*, vol. 10, pp. 301-323, 1982.
- [47] C. Thorpe, M. Hebert, T. Kanade y S. Shafer, "Vision and Navigation for the Carnegie Mellon Navlab," in *High Precision Navigation*, K. Linkwitz and U. Hangleiter, Eds., Springer, Berlin, Heidelberg, 1989, pp. 6, doi: 10.1007/978-3-642-74585-0_6.
- [48] A. Qayyum, M. Usama, J. Qadir y A. I. Al-Fuqaha, "Securing Connected & Autonomous Vehicles: Challenges Posed by Adversarial Machine Learning and the Way Forward," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 22, pp. 998-1026, 2019, doi: 10.1109/COMST.2020.2975048.
- [49] A. K. Marsh, "Guide to Defense & Aerospace Expert Systems," Pasha Publications, 1986. Disponible en: <https://www.libreriauniversitaria.it/guide-to-defense-aerospace-expert/book/9780935453126>
- [50] T. J. Sejnowski y C. R. Rosenberg, "NETtalk: A Parallel Network That Learns to Read Aloud," *Electrical Engineering and Computer Science*, Johns Hopkins University, JHU/EECS-86/01, 1986.
- [51] D. A. Pomerleau, "ALVINN: An Autonomous Land Vehicle in a Neural Network," *Neural Information Processing Systems*, 1988, doi: 10.1184/R1/6603146.V1.
- [52] [52] R. Nelson y N. Stagers, "Health Informatics: An Interprofessional Approach," 2nd ed. Mosby, 2017.
- [53] [53] S. Grossberg, "Adaptive Resonance Theory: How a Brain Learns to Consciously Attend, Learn, and Recognize a Changing World," *Neural Networks: The Official Journal of the International Neural Network Society*, vol. 37, pp. 1-47, 2013, doi: 10.1016/j.neunet.2012.09.017
- [54] J. J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 79, no. 8, pp. 2554-2558, 1982, doi: 10.1073/pnas.79.8.2554.
- [55] A. G. Barto, R. S. Sutton y C. W. Anderson, "Neuronlike Adaptive Elements That Can Solve Difficult Learning Control Problems," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. SMC-13, pp. 834-846, 1983, doi: 10.1109/TSMC.1983.6313077.
- [56] X. Liu, S. Song y T. Lei, "Application of BP Neural Networks in Prediction of the Material Dynamic Properties," en *Advances in Neural Networks - ISNN 2011*, D. Liu, H. Zhang, M. Polycarpou, C. Alippi, and H. He, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, vol. 6675, doi: 10.1007/978-3-642-21105-8_9.
- [57] David E. Rumelhart; James L. McClelland, "Information Processing in Dynamical Systems: Foundations of Harmony Theory," in *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition: Foundations*, MIT Press, 1987, pp.194-281.
- [58] T. Kohonen, "The self-organizing map," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 78, no. 9, pp. 1464-1480, Septiembre de 1990, doi: 10.1109/5.58325.
- [59] Y. Lecun, "A theoretical framework for back-propagation," en *Proceedings of the 1988 Connectionist Models Summer School*, D. Touretzky, G. Hinton, & T. Sejnowski, Eds. Morgan Kaufmann, CMU, Pittsburgh, PA, 1988, pp. 21-28.
- [60] D.S. Broomhead y D. Lowe, "Multivariable Functional Interpolation and Adaptive Networks," *Complex Systems*, vol. 2, 1988, pp. 321-355.
- [61] C.L. Giles, C.B. Miller, D. Chen, H.H. Chen, G.Z. Sun, Y.C. Lee, "Extracting and Learning an Unknown Grammar with Recurrent Neural Networks," in *Advances in Neural Information Processing Systems 4*, edited by J. Moody, S. Hanson, R. Lippmann, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1992, pp. 317-324.
- [62] L.R. Medsker, "Expert Systems and Neural Networks," en *Hybrid Intelligent Systems*, Springer, Boston, MA, 1995, doi: 10.1007/978-1-4615-2353-6_3.
- [63] C. W. Omlin y C. L. Giles, "Rule revision with recurrent neural networks," en *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 183-188, Febrero de 1996, doi: 10.1109/69.485647.
- [64] J. Stuart y D. Sanders, "European Eureka Project - PROgraMme for a European Traffic of Highest Efficiency and Unprecedented Safety (PROMETHEUS)," 7 de marzo de 1987 al 14 de noviembre de 1992. [En línea]. Disponible en: <https://researchportal.port.ac.uk/en/projects/european-eureka-project-programme-for-a-european-traffic-of-highe>
- [65] J.R. Koza, "Genetic programming as a means for programming computers by natural selection," *Statistics and Computing*, vol. 4, pp. 87-112, 1994, doi: 10.1007/BF00175355.
- [66] C. Cortes and V. Vapnik, "Support-vector networks," *Machine Learning*, vol. 20, pp. 273-297, 1995, doi: 10.1007/BF00994018.
- [67] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio and P. Haffner, "Gradient-based learning applied to document recognition," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 86, no. 11, pp. 2278-2324, Noviembre de 1998, doi: 10.1109/5.726791.
- [68] M. Campbell, A.J. Hoane, and F. Hsu, "Deep Blue," *Artificial Intelligence*, vol. 134, pp. 57-83, 2002, doi: 10.1016/S0004-3702(01)00129-1.
- [69] M. Fujita, "AIBO: Toward the Era of Digital Creatures," *The International Journal of Robotics Research*, vol. 20, pp. 781-794, 2001, doi: 10.1177/02783640122068092.
- [70] C. J. Reynolds, "The Sensing and Measurement of Frustration with Computers," 2001.
- [71] T. Simonite, "Robot Journalist Finds New Work on Wall Street," *MIT Technology Review*, 9 de enero de 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.technologyreview.com/2015/01/09/169664/robot-journalist-finds-new-work-on-wall-street/> [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [72] D. A. Ferrucci, "Introduction to "This is Watson"," in *IBM Journal of Research and Development*, vol. 56, no. 3.4, pp. 1:1-1:15, Mayo-Junio de 2012, doi: 10.1147/JRD.2012.2184356.
- [73] A. Krizhevsky, I. Sutskever, y G. E. Hinton, "ImageNet classification with deep convolutional neural networks," *Communications of the ACM*, vol. 60, no. 6, pp. 84-90, Junio de 2017, doi: 10.1145/3065386.
- [74] I. J. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, y Y. Bengio, "Generative adversarial nets," en *Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems - Volume 2 (NIPS'14)*, MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2014, pp. 2672-2680.
- [75] K. Warwick y H. Shah, "Passing the Turing Test Does Not Mean the End of Humanity," *Cognitive Computation*, vol. 8, pp. 409-419, 2016, doi: 10.1007/s12559-015-9372-6.
- [76] D. Silver et al., "Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search," *Nature*, vol. 529, no. 7587, pp. 484-489, 2016, doi: 10.1038/nature16961.
- [77] D. Abranches, D. O'Sullivan y J. Bird, "Nurse-led Design and Development of an Expert System for Pressure Ulcer Management," en *Extended Abstracts of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '19)*, New York, NY, USA: ACM, 2019, Paper LBW1814, pp. 1-6, doi: 10.1145/3290607.3312958.
- [78] T. B. Brown et al., "Language Models are Few-Shot Learners," en *34th Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2020)*, Vancouver, Canada, 2020.
- [79] R. Thoppilan et al., "Lamda: Language models for dialog applications," 2022. [En línea]. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2201.08239>, doi: 10.48550/ARXIV.2201.08239.
- [80] J.C. Flowers, "Strong and weak AI: Deweyan considerations," in *AAAI Spring Symposium: Towards Conscious AI Systems*, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://ceur-ws.org/Vol-2287/paper34.pdf>

- [81] G. Ficht and S. Behnke, "Bipedal Humanoid Hardware Design: a Technology Review," *Current Robotics Reports*, vol. 2, pp. 201-210, 2021, doi: 10.1007/s43154-021-00050-9.
- [82] A. M. Barrett y S. D. Baum, "A model of pathways to artificial superintelligence catastrophe for risk and decision analysis," *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 2016, doi: 10.1080/0952813X.2016.1186228.
- [83] J. A. Reggia, G. E. Katz y G. P. Davis, "Artificial Conscious Intelligence," *Journal of Artificial Intelligence and Consciousness*, vol. 07, no. 01, pp. 95-107, Marzo de 2020, doi: 10.1142/S270507852050006X.
- [84] A. Hintze, "Understanding the four types of AI, from reactive robots to self-aware beings," *The Conversation*, 14 de noviembre de 2016. [En línea]. Disponible en: <https://theconversation.com/understanding-the-four-types-of-ai-from-reactive-robots-to-self-aware-beings-67616>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023]
- [85] S. O. Abioye et al., "Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges," *Journal of Building Engineering*, vol. 44, Article 103299, 2021, doi: 10.1016/j.jobbe.2021.103299
- [86] IBM Data and AI Team, "AI vs. Machine Learning vs. Deep Learning vs. Neural Networks: What's the difference?" IBM, 6 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ibm.com/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks/>. [Accedido: 23 de noviembre de 2023].
- [87] A. Burkov, "The Hundred-Page Machine Learning Book," Andriy Burkov, 7 de enero de 2019.
- [88] J. VijiPriya, J. Ashok y S. Suppiah, "A review on significance of sub fields in artificial intelligence," *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2016.
- [89] S. B. Kotsiantis, "Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques," *Informatica*, vol. 31, no. 3, pp. 249-268, 2007.
- [90] J. P. Cambronero y M. C. Rinard, "AL: autogenerating supervised learning programs," *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, vol. 3, OOPSLA, Article 175, Octubre de 2019, doi: 10.1145/3360601
- [91] [91] I. Czarnowski y P. Jędrzejowicz, "Supervised Classification Problems—Taxonomy of Dimensions and Notation for Problems Identification," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 151386-151400, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3125622.
- [92] M. J. Gacto, J. M. Soto-Hidalgo, J. Alcalá-Fdez y R. Alcalá, "Experimental Study on 164 Algorithms Available in Software Tools for Solving Standard Non-Linear Regression Problems," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 108916-108939, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2933261.
- [93] [93] C. Luo, S. Wei, S. Yuan, Z. Song, W. Song y S. Wang, "An Unsupervised Learning Method for Estimating Zero-Crossing-Time," in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 17, no. 7, pp. 1148-1152, Julio de 2020, doi: 10.1109/LGRS.2019.2942166.
- [94] P. Dayan, "Unsupervised Learning," *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, 1999.
- [95] J. Gao, C. Zhong, X. Chen, H. Lin y Z. Zhang, "Unsupervised Learning for Passive Beamforming," in *IEEE Communications Letters*, vol. 24, no. 5, pp. 1052-1056, Mayo de 2020, doi: 10.1109/LCOMM.2020.2965532.
- [96] J. Chang, G. Meng, L. Wang, S. Xiang y C. Pan, "Deep Self-Evolution Clustering," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 42, no. 4, pp. 809-823, 1 Abril de 2020, doi: 10.1109/TPAMI.2018.2889949.
- [97] M. -S. Yang y I. Hussain, "Unsupervised Multi-View K-Means Clustering Algorithm," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 13574-13593, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3243133.
- [98] C. Rudin, B. Letham y D. Madigan, "Learning theory analysis for association rules and sequential event prediction," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 14, no. 1, pp. 3441-3492, Enero de 2013.
- [99] Y. Zhao, C. Zhang, and L. Cao, "Post-Mining of Association Rules: Techniques for Effective Knowledge Extraction," 2009, doi: 10.4018/978-1-60566-404-0.
- [100] I. Ahmed, A. Dagnino y Y. Ding, "Unsupervised Anomaly Detection Based on Minimum Spanning Tree Approximated Distance Measures and its Application to Hydropower Turbines," in *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 16, no. 2, pp. 654-667, Abril de 2019, doi: 10.1109/TASE.2018.2848198.
- [101] L. Ruff et al., "A Unifying Review of Deep and Shallow Anomaly Detection," in *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 5, pp. 756-795, Mayo de 2021, doi: 10.1109/JPROC.2021.3052449.
- [102] Z. Jiandong, Y. Qiming, S. Guoqing, L. Yi y W. Yong, "UAV cooperative air combat maneuver decision based on multi-agent reinforcement learning," in *Journal of Systems Engineering and Electronics*, vol. 32, no. 6, pp. 1421-1438, Diciembre de 2021, doi: 10.23919/JSEE.2021.000121.
- [103] K. -L. A. Yau, Y. -W. Chong, X. Fan, C. Wu, Y. Saleem y P. -C. Lim, "Reinforcement Learning Models and Algorithms for Diabetes Management," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 28391-28415, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3259425.
- [104] S. S. Mousavi, M. Schukat y E. Howley, "Deep Reinforcement Learning: An Overview," *Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference*, 2018.
- [105] G. S. Gonsalves et al., "Maximizing the Efficiency of Active Case Finding for SARS-CoV-2 Using Bandit Algorithms," *Medical decision making: an international journal of the Society for Medical Decision Making*, vol. 41, no. 8, pp. 970-977, 2021, doi: 10.1177/0272989X211021603.
- [106] N. Sutisna, A. M. R. Ilmy, I. Syafalni, R. Mulyawan y T. Adiono, "FARANE-Q: Fast Parallel and Pipeline Q-Learning Accelerator for Configurable Reinforcement Learning SoC," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 144-161, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3232853.
- [107] B. Jang, M. Kim, G. Harerimana y J. W. Kim, "Q-Learning Algorithms: A Comprehensive Classification and Applications," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 133653-133667, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2941229.
- [108] Y. Yan, G. Li, Y. Chen y J. Fan, "The Efficacy of Pessimism in Asynchronous Q-Learning," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 69, no. 11, pp. 7185-7219, Noviembre de 2023, doi: 10.1109/TIT.2023.3299840.
- [109] J. Patterson y A. Gibson, "Deep Learning: A Practitioner's Approach," 1st ed. O'Reilly Media, Inc., 2017.
- [110] A. Mohammadian, C. Tellambura y G. Y. Li, "Deep Learning-Based Phase Noise Compensation in Multicarrier Systems," in *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 10, no. 10, pp. 2110-2114, Octubre de 2021, doi: 10.1109/LWC.2021.3093574.
- [111] N. Li, O. Kähler y N. Pfeifer, "A Comparison of Deep Learning Methods for Airborne Lidar Point Clouds Classification," in *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 14, pp. 6467-6486, 2021, doi: 10.1109/JSTARS.2021.3091389.
- [112] K. Zaman, M. Sah, C. Direkoglu y M. Unoki, "A Survey of Audio Classification Using Deep Learning," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 106620-106649, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3318015.
- [113] H. V. Habi y H. Messer, "Recurrent Neural Network for Rain Estimation Using Commercial Microwave Links," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 59, no. 5, pp. 3672-3681, Mayo de 2021, doi: 10.1109/TGRS.2020.3010305.
- [114] X. Jiang, J. Sun, C. Li y H. Ding, "Video Image Defogging Recognition Based on Recurrent Neural Network," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 7, pp. 3281-3288, Julio de 2018, doi: 10.1109/TII.2018.2810188.
- [115] G. Alvarez-Narciandi, A. Motroni, M. R. Pino, A. Buffi y P. Nepa, "A UHF-RFID Gate Control System Based on a Recurrent Neural Network," in *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 11, pp. 2330-2334, Noviembre de 2019, doi: 10.1109/LAWP.2019.2929416.
- [116] B. A. Abdelghani, S. Banitaan, M. Maleki y A. Mazen, "Kissing Bugs Identification Using Convolutional Neural Network," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 140539-140548, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119587.
- [117] S. Chatterjee, S. S. Roy, K. Samanta y S. Modak, "Sensing Wettability Condition of Insulation Surface Employing Convolutional Neural Network," in *IEEE Sensors Letters*, vol. 4, no. 7, pp. 1-4, Julio de 2020, Art no. 5501104, doi: 10.1109/LENS.2020.3002991.

- [118] X. Wang, A. Bao, Y. Cheng y Q. Yu, "Multipath Ensemble Convolutional Neural Network," en *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, vol. 5, no. 2, pp. 298-306, Abril de 2021, doi: 10.1109/TETCI.2018.2877154.
- [119] A. Azarmi Gilan, M. Emad y B. Alizadeh, "FPGA-Based Implementation of a Real-Time Object Recognition System Using Convolutional Neural Network," en *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 67, no. 4, pp. 755-759, Abril de 2020, doi: 10.1109/TCSII.2019.2922372.
- [120] S. Kaushik, A. Choudhury, S. Natarajan, L. A. Pickett y V. Dutt, "Medicine Expenditure Prediction via a Variance-Based Generative Adversarial Network," en *IEEE Access*, vol. 8, pp. 110947-110958, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3002346.
- [121] F. Dong, Y. Zhang y X. Nie, "Dual Discriminator Generative Adversarial Network for Video Anomaly Detection," en *IEEE Access*, vol. 8, pp. 88170-88176, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993373.
- [122] F. Lateef, M. Kas y Y. Ruichek, "Saliency Heat-Map as Visual Attention for Autonomous Driving Using Generative Adversarial Network (GAN)," en *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 23, no. 6, pp. 5360-5373, Junio de 2022, doi: 10.1109/TITS.2021.3053178.
- [123] A. Oluwasanmi, M. U. Aftab, A. Shokanbi, J. Jackson, B. Kumeda y Z. Qin, "Attentively Conditioned Generative Adversarial Network for Semantic Segmentation," en *IEEE Access*, vol. 8, pp. 31733-31741, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2973296.
- [124] V. Das, S. Dandapat y P. K. Bora, "A Data-Efficient Approach for Automated Classification of OCT Images Using Generative Adversarial Network," en *IEEE Sensors Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 1-4, Enero de 2020, Art no. 7000304, doi: 10.1109/LENS.2019.2963712.
- [125] M. R. Waters, S. Aneja, y J. C. Hong, "Unlocking the Power of ChatGPT, Artificial Intelligence, and Large Language Models: Practical Suggestions for Radiation Oncologists," *Practical Radiation Oncology*, vol. 13, no. 6, pp. e484-e490, 2023, doi: 10.1016/j.prro.2023.06.011.
- [126] P. Maddigan y T. Susnjak, "Chat2VIS: Generating Data Visualizations via Natural Language Using ChatGPT, Codex and GPT-3 Large Language Models," en *IEEE Access*, vol. 11, pp. 45181-45193, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3274199.
- [127] B. Nicula, M. Dascalu, T. Arner, R. Balyan, y D. S. McNamara, "Automated Assessment of Comprehension Strategies from Self-Explanations Using LLMs," *Information*, vol. 14, no. 10, p. 567, Octubre de 2023, doi: 10.3390/info14100567.
- [128] L. Yicong, Z. Di, X. Haoran y W. Fu Lee. (2023). "Exploring the potential of using ChatGPT in physics education. *Smart Learning Environments*," doi: 10.101186/s40561-023-00273-7.
- [129] L. Beurer-Kellner, M. Fischer y M. Vechev, "Prompting Is Programming: A Query Language for Large Language Models," *Proceedings of the ACM on Programming Languages*, vol. 7, PLDI, Art. 186, pp. 24, Junio de 2023, doi: 10.1145/3591300.
- [130] M. Hagiwara, "Real-World Natural Language Processing: Practical Applications with Deep Learning," Manning, 2021.
- [131] D. W. Otter, J. R. Medina y J. K. Kalita, "A Survey of the Usages of Deep Learning for Natural Language Processing," en *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 32, no. 2, pp. 604-624, Febrero de 2021, doi: 10.1109/TNNLS.2020.2979670.
- [132] D. Mahendran, C. Luo y B. T. McInnes, "Review: Privacy-Preservation in the Context of Natural Language Processing," en *IEEE Access*, vol. 9, pp. 147600-147612, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3124163.
- [133] Y. -H. Chuang et al., "Effective Natural Language Processing and Interpretable Machine Learning for Structuring CT Liver-Tumor Reports," en *IEEE Access*, vol. 10, pp. 116273-116286, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3218646.
- [134] E. H. Houssein, R. E. Mohamed y A. A. Ali, "Machine Learning Techniques for Biomedical Natural Language Processing: A Comprehensive Review," en *IEEE Access*, vol. 9, pp. 140628-140653, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3119621.
- [135] Y. Bengio, A. Courville y P. Vincent, "Representation Learning: A Review and New Perspectives," en *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 35, no. 8, pp. 1798-1828, 2013, doi: 10.1109/TPAMI.2013.50.
- [136] A. Vaswani, N. Shazeer, N. Parmar, J. Uszkoreit, L. Jones, A. N. Gomez, L. Kaiser y I. Polosukhin. "Attention is all you need," en *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems*, Long Beach, USA, pp. 6000-6010, 2017, doi: 10.5555/3295222.3295349.
- [137] A. Radford, J. Wu, R. Child, D. Luan, D. Amodei, y I. Sutskever, (2019). "Language Models are Unsupervised Multitask Learners," en *OpenAI blog*, 2019.
- [138] Z. -J. Zhou, G. -Y. Hu, C. -H. Hu, C. -L. Wen y L. -L. Chang, "A Survey of Belief Rule-Based Expert System," en *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 51, no. 8, pp. 4944-4958, Agosto de 2021, doi: 10.1109/TSMC.2019.2944893.
- [139] X. Xu, X. Yan, C. Sheng, C. Yuan, D. Xu y J. Yang, "A Belief Rule-Based Expert System for Fault Diagnosis of Marine Diesel Engines," en *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 50, no. 2, pp. 656-672, Febrero de 2020, doi: 10.1109/TSMC.2017.2759026.
- [140] J. Villena-Román, S. Collada-Pérez, S. Lana-Serrano, y J. C. González-Cristóbal, "Hybrid approach combining machine learning and a rule-based expert system for text categorization," en *Proceedings of the Twenty-Fourth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, 2011.
- [141] G. F. Luger, "Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving," Pearson, 6th ed., 2008.
- [142] E. H. Shortliffe y J. J. Cimino, "Biomedical Informatics: Computer Applications in Health Care and Biomedicine." Springer, 2021.
- [143] R. F. N. Alshammari, H. Arshad, A. H. A. Rahman y O. S. Albahri, "Robotics Utilization in Automatic Vision-Based Assessment Systems From Artificial Intelligence Perspective: A Systematic Review," en *IEEE Access*, vol. 10, pp. 77537-77570, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3188264.
- [144] K.-C. Chen, "Artificial Intelligence in Wireless Robotics," en *Artificial Intelligence in Wireless Robotics*, River Publishers, 2020, pp. i-12.
- [145] G. Yang et al., "Homecare Robotic Systems for Healthcare 4.0: Visions and Enabling Technologies," en *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. 24, no. 9, pp. 2535-2549, Septiembre de 2020, doi: 10.1109/JBHI.2020.2990529.
- [146] R. S. Sutton y A. G. Barto, "Reinforcement Learning: An Introduction," 2nd ed., Cambridge, The MIT Press, 2018.
- [147] S. Levine, C. Finn, T. Darrell, y P. Abbeel, "End-to-end training of deep visuomotor policies," en *Journal of Machine Learning Research*, vol. 17, pp. 39:1-39:40, 2016.
- [148] G. M. Atmeh, I. Ranatunga, D. O. Popa, K. Subbarao, F. Lewis y P. Rowe, "Implementation of an adaptive, model free, learning controller on the Atlas robot," en *2014 American Control Conference*, Portland, OR, USA, pp. 2887-2892, 2014, doi: 10.1109/ACC.2014.6859431.
- [149] I. Caspi, "The rise of humanoids, explained," *Global X*, 1 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.globalex.com/the-rise-of-humanoids-explained/>. [Accedido: 12 de octubre de 2024].
- [150] N. S. N. Abd Aziz, S. Mohd Daud, R. A. Dziauddin, M. Z. Adam y A. Azizan, "A Review on Computer Vision Technology for Monitoring Poultry Farm—Application, Hardware, and Software," en *IEEE Access*, vol. 9, pp. 12431-12445, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3047818.
- [151] Y. Panagakis et al., "Tensor Methods in Computer Vision and Deep Learning," en *Proceedings of the IEEE*, vol. 109, no. 5, pp. 863-890, Mayo de 2021, doi: 10.1109/JPROC.2021.3074329.
- [152] L. R. Kennedy-Metz et al., "Computer Vision in the Operating Room: Opportunities and Caveats," en *IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics*, vol. 3, no. 1, pp. 2-10, Febrero de 2021, doi: 10.1109/TMRB.2020.3040002.
- [153] Y. LeCun, Y. Bengio, y G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, pp. 436-444, 2015, doi: 10.1038/nature14539.
- [154] K. He, X. Zhang, S. Ren y J. Sun, "Deep Residual Learning for Image Recognition," en *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pa-*

- tern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016, pp. 770-778, doi: 10.1109/CVPR.2016.90.
- [155] J. Redmon y A. Farhadi, "YOLOv3: An incremental improvement," *ArXiv*, vol. abs/1804.02767, 2018.
- [156] T. F. Naves y C. R. Lopes, "Maximization of the resource production in RTS games through stochastic search and planning," 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Seoul, Korea (South), 2012, pp. 2241-2246, doi: 10.1109/ICSMC.2012.6378074.
- [157] P. Gomoluch, D. Alrajeh, A. Russo y A. Bucchiarone, "Learning Neural Search Policies for Classical Planning," *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling*, vol. 30, no. 1, pp. 522-530, 2020, doi: 10.1609/icaps.v30i1.6748
- [158] M. P. Strub y J. D. Gammell, "Advanced BIT* (ABIT*): Sampling-Based Planning with Advanced Graph-Search Techniques," 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Paris, France, 2020, pp. 130-136, doi: 10.1109/ICRA40945.2020.9196580.
- [159] L. N. Kanal y V. Kumar., "Search in Artificial Intelligence (Symbolic Computation)," Springer, 1988.
- [160] S. M. LaValle, "Motion planning," in *Planning Algorithms*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 63–65, 2006.
- [161] P. E. Hart, N. J. Nilsson y B. Raphael, "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths," *en IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, vol. 4, no. 2, pp. 100-107, Julio de 1968, doi: 10.1109/TSSC.1968.300136.
- [162] D. Gaines, S. Chien, G. Rabideau, S. Kuhn, V. Wong, A. Yelamanchili, S. Towey, J. Agrawal, W. Chi, A. Connell, E. Davis, y C. Lohr, "Onboard planning for the Mars 2020 Perseverance Rover," *en Proceedings of the 16th Symposium on Advanced Space Technologies in Robotics and Automation*, European Space Agency, 2022.
- [163] K. M. Hosny, D. Elshoura, E. R. Mohamed, E. Vrochidou y G. A. Papakostas, "Deep Learning and Optimization-Based Methods for Skin Lesions Segmentation: A Review," *en IEEE Access*, vol. 11, pp. 85467-85488, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3303961.
- [164] S. Boyd y L. Vandenberghe, "Convex Optimization," Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- [165] R. -E. Precup, E. -L. Hedrea, R. -C. Roman, E. M. Petriu, A. -I. Szedlak-Stinean y C. -A. Bojan-Drăgus, "Experiment-Based Approach to Teach Optimization Techniques," *en IEEE Transactions on Education*, vol. 64, no. 2, pp. 88-94, Mayo de 2021, doi: 10.1109/TE.2020.3008878.
- [166] J. Kennedy y R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *en Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, Australia, vol. 4, pp. 1942-1948, 1995, doi: 10.1109/ICNN.1995.488968.
- [167] A. D. Wilson, J. A. Schultz, A. R. Ansari y T. D. Murphey, "Dynamic Task Execution Using Active Parameter Identification With the Baxter Research Robot," *en IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 391-397, Enero de 2017, doi: 10.1109/TASE.2016.2594147.
- [168] F. P. Flores García, "Resolución sobre la pensión alimenticia", Expediente 00052-2022-18-3002-JP-FC-01, Primer Juzgado Civil, San Juan de Miraflores, 27 de marzo de 2023.
- [169] Gobierno del Perú, "PERÚ COMPRAS aplica la inteligencia artificial con enfoque anticorrupción," Ministerio de Economía y Finanzas, Comunicado de Prensa, 18 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/perucompras/noticias/561433-peru-compras-aplica-la-inteligencia-artificial-con-enfoque-anticorrupcion>
- [170] C. Quispe-Juli, J. Caceres-Alban, C. Ugas y J. Kirschbaum, "Explorando la viabilidad de la integración de la inteligencia artificial en la atención médica pediátrica: Un estudio preliminar con ChatGPT," *Investigación e Innovación Clínica y Quirúrgica Pediátrica*, vol. 1, pp. 14-23, 2023, doi: 10.59594/iicqp.2023.v1n1.5.
- [171] S. Pichihua, "Así se usa la inteligencia artificial en el Instituto Nacional de Salud del Niño San Borja," *El Peruano*, 10 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.elperuano.pe/noticia/217565-asi-se-usa-la-inteligencia-artificial-en-el-instituto-nacional-de-salud-del-nino-san-borja>
- [172] A. Robles Vilca, "Startup peruana transforma la educación con su plataforma de aprendizaje colectivo," *El Centro de Innovación y Desarrollo Emprendedor (CIDE-PUCP)*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cide.pucp.edu.pe/startup-peruana-transforma-la-educacion-con-su-plataforma-de-aprendizaje-colectivo/>. [Accedido: 20 de noviembre de 2023].
- [173] Noticias UPC, "Universidad peruana incorpora Inteligencia Artificial en sus clases," *Noticias UPC*, 16 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://noticias.upc.edu.pe/2023/06/16/universidad-peruana-incorpora-inteligencia-artificial-en-sus-clases/>
- [174] Redacción Gestión, "Gamarra empieza a usar inteligencia artificial para confeccionar prendas de vestir," *Gestión*, 17 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/empresas/gamarra-empieza-a-usar-inteligencia-artificial-para-confeccionar-prendas-de-vestir-noticia>.