

Tendencias temáticas de la inteligencia artificial: el caso de la producción científica de la revista *Artificial Intelligence Journal*

Cristina Restrepo-Arango

Institución Universitaria Pascual Bravo, Biblioteca, Medellín, Colombia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4275-4102>

crestrepoarango@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.26512/rici.v19.n2.2026.57764>

Recebido/Recibido/Received: 2025-04-01

Aceito/Aceptado/Accepted: 2026-04-06

Publicado/Publicado/Published: 2026-05-07

Resumen

Objetivo: Realiza un análisis de copalabras para la identificación de las temáticas de investigación que se han usado en la inteligencia artificial. **Método:** Se usaron las palabras clave contenidas en 3050 artículos académicos publicados en la revista *Artificial Intelligence Journal* (AIJ) desde 1970 a 2024. Se utilizó el análisis de copalabras y para aplicar esta técnica se usó el lenguaje de programación en R en el entorno de desarrollo integrado (EDI) de RStudio. Por ello con las palabras clave depuradas se generó una matriz de copalabras con el software BibExcel. Esta matriz se manipuló con el paquete *igraph* para obtener las redes de copalabras de cinco décadas. **Resultado:** La red de 1970-1980 está formada por 11 palabras clave con once relaciones y la componen cinco comunidades. La red de 1981-1990 está formada por nueve palabras clave con diez relaciones y la componen dos comunidades. La red de 1991-2000 está formada por 26 palabras clave con 55 relaciones y la componen 16 comunidades. La red de 2001-2010 está formada por 38 palabras clave con 43 relaciones y la componen diez comunidades. La red de 2011-2024 está formada por 20 palabras clave con 40 relaciones y la componen tres comunidades. **Conclusiones:** La palabra clave con el mayor número de vínculos en las redes de 1970-1980 a 1981-1990 es *systems science and cybernetics*. Mientras que las décadas de 1991-2000, 2001-2010 son: *semantics*, *computer circuits* y *data description*. Estas palabras clave en 2011-2024 son: *problem solving*, *computational complexity* y *algorithms*. Esto muestra que las temáticas se mantienen constantes por dos décadas, pero evolucionan conforme aparecen otras preocupaciones o problemas. En cuanto a las palabras más importantes (mayor centralidad) en la década de 1970 a 1980, no se encontraron palabras clave con esta característica, pero en 1981-1990 se destacan *computational methods*, *approximation theory* y *data structures*, entre otras. Llama la atención que en las décadas de 1991-2000 y 2001-2010 las palabras más importantes son similares; por ejemplo, *learning systems*, *non-monotonic reasoning*, *multi agent systems* y *constraint theory*, entre otras, pero en 2011-2024 las palabras clave son: *algorithms* y *learning algorithms*.

Palabras clave: Análisis de copalabras. Inteligencia artificial. *Artificial Intelligence Journal*.

Tendências temáticas em inteligência artificial: o caso da produção científica do periódico *Artificial Intelligence Journal*

Resumo

Objetivo: Realizar uma análise de copalavras para identificar os temas de pesquisa que têm sido utilizados em inteligência artificial. **Método:** Foram utilizadas palavras-chave contidas em 3.050 artigos acadêmicos publicados no *Artificial Intelligence Journal* (AIJ) no período de 1970 a 2024. Foi utilizada análise de copalavras e para aplicação desta técnica foi utilizada a linguagem de programação R no ambiente de desenvolvimento integrado (EDI) RStudio. Portanto, com as palavras-chave refinadas, foi gerada uma matriz de copalavras com o software BibExcel. Esta matriz foi manipulada com o pacote *igraph* para obter

redes cword para cinco períodos. **Resultado:** A rede de 1970-1980 consiste em 11 palavras-chave com um único relacionamento e cinco comunidades. A rede de 1981-1990 compreende novas palavras-chave com diferentes relacionamentos e componentes de comunidade. A rede de 1991-2000 consiste em 26 palavras-chave com 55 relacionamentos e 16 comunidades. A rede de 2001-2010 consiste em 38 palavras-chave com 43 relacionamentos e inclui comunidades. A rede de 2011-2024 consiste em 20 palavras-chave com 40 relacionamentos e inclui três comunidades. **Conclusões:** A palavra-chave com mais links nas redes entre 1970-1980 e 1981-1990 é "ciência de sistemas e cibernética". Para as décadas de 1991-2000 e 2001-2010, as palavras-chave são "semântica", "circuitos de computador" e "descrição de dados". Essas palavras-chave para o período de 2011-2024 são "resolução de problemas", "complexidade computacional" e "algoritmos". Isso demonstra que os temas permanecem constantes por duas décadas, mas evoluem à medida que novas preocupações ou problemas surgem. Em relação às palavras-chave mais importantes (maior centralidade) nas décadas de 1970 e 1980, não foram encontradas palavras-chave com essa característica, mas no período de 1981 a 1990, destacaram-se métodos computacionais, teoria da aproximação e estruturas de dados, entre outras. Vale ressaltar que nas décadas de 1991 a 2000 e de 2001 a 2010, as palavras-chave mais importantes são semelhantes; por exemplo, sistemas de aprendizado, raciocínio não monotônico, sistemas multiagentes e teoria das restrições, entre outras, enquanto no período de 2011 a 2024, as palavras-chave são algoritmos e algoritmos de aprendizado. **Palavras-chave:** Análise de copalavras. Inteligência artificial. *Artificial Intelligence Journal*.

Thematic trends in artificial intelligence: the case of the scientific output of Artificial Intelligence

Journal

Abstract

Objective: Perform a co-word analysis to identify the research topics that have been used in artificial intelligence. **Method:** Keywords from 3,050 academic articles published in the Artificial Intelligence Journal (AIJ) from 1970 to 2024 were analyzed. Co-word analysis was used, and the R programming language was used in the RStudio integrated development environment (EDI). Therefore, with the refined keywords, a co-word matrix was generated using BibExcel software. This matrix was manipulated with the igraph package to obtain co-word networks for five time periods. **Results:** The network for the period 1970–1980 is composed of 11 keywords with eleven connections and consists of five communities. The network for the period 1981–1990 is composed of nine keywords with ten connections and consists of two communities. The network for the period 1991–2000 is composed of 26 keywords with 55 connections and consists of 16 communities. The network for the period 2001–2010 is composed of 38 keywords with 43 connections and consists of ten communities. The network for the period 2011–2024 is composed of 20 keywords with 40 connections and consists of three communities. **Conclusions:** The keyword with the most links in the networks from 1970-1980 to 1981-1990 is "systems science and cybernetics." For the decades of 1991-2000 and 2001-2010, the keywords are "semantics," "computer circuits," and "data description." These keywords for 2011-2024 are "problem solving," "computational complexity," and "algorithms." This shows that the themes remain constant for two decades but evolve as new concerns or problems emerge. Regarding the most important keywords (highest centrality) in the 1970s and 1980s, no keywords with this characteristic were found, but in the 1981-1990 period, computational methods, approximation theory, and data structures, among others, stood out. It is worth noting that in the 1991-2000 and 2001-2010 decades, the most important keywords are similar; for example, learning systems, non-monotonic reasoning, multi-agent systems, and theory of constraints, among others, while in the 2011-2024 period, the keywords are algorithms and learning algorithms. **Keywords:** Co-word analysis. Artificial intelligence. *Artificial Intelligence Journal*.

1 Introducción

La inteligencia artificial (IA) se aplica en muchos campos del conocimiento para contribuir a la solución de problemas en disciplinas como economía, finanzas, gestión, ingeniería y medicina, entre otros. Se considera la cuarta revolución industrial (Abbas, 2019), ya que es una "oportunidad para mejorar la productividad empresarial, automatizar [...] trabajos manuales y

proporcionar un mayor control sobre la calidad de la producción, entre otros beneficios” (Chavarro, Pérez-Taborda y Ávila, 2022, p. 7042). Usa la programación lógica, las redes neuronales, y el aprendizaje profundo, entre otras áreas del conocimiento. Intenta imitar el funcionamiento de las neuronas en el cerebro para lograr avanzar en la similitud de las máquinas con los seres humanos (Rezazadegan, Sharifzadeh y Magee, 2024). Por eso es considerada una tecnología disruptiva que está transformando la cotidianidad humana desde lo productivo hasta el día a día de una familia. Básicamente se afirma que “[...]busca emular las capacidades cognitivas humanas, tales como la percepción, el aprendizaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones” (Zambrano Salazar; Gamboa López; Núñez Pico, 2024, p. 560)

Se espera que supere la inteligencia humana y logre reemplazar al ser humano en actividades operativas. Esta expectativa está generando preocupaciones sobre el uso ético en diversos ámbitos como el educativo, el empresarial y el gubernamental, sobre todo por los vacíos normativos y la falta de protocolos sobre la aplicación de estas tecnologías. El uso de la IA que no esté regulado puede generar caos, incertidumbre y fraudes por la utilización de datos personales como fotografías, videos o registro de la voz para hacer suplantaciones, lo que puede desencadenar en riesgos contra la seguridad personal y hasta la seguridad nacional de un país.

Por lo anterior es importante analizar los avances de la investigación producida sobre IA que se difunde en revistas académicas, a partir de la aplicación del análisis de copalabras (AC). El AC permite identificar temáticas recurrentes, además de contribuir a la “formulación de políticas públicas basadas en evidencia” (Chavarro, Pérez-Taborda y Ávila, 2022, p. 7043) y a establecer relaciones temáticas, por medio del análisis de copalabras (AC) para identificar el desarrollo de la investigación en esta área. El AC se basa en que las palabras clave son una descripción del contenido y su coocurrencia indica la conexión entre los temas tratados en los artículos. Por ejemplo, “transmisión de hepatitis B” y “trabajadores hospitalarios”, es decir, en este caso el artículo trata sobre el problema de los trabajadores hospitalarios que adquirieron hepatitis B durante la ejecución de sus rutinas profesionales (Cambrosio, Limoges, Courtial y Laville 1993).

La exploración de la literatura académica, por medio del AC permite identificar ideas, conceptos y métodos que han sido aceptados por los científicos. Estos términos clave son frecuentemente usados en los términos que aparecen en títulos, palabras clave y resúmenes. Para realizar este tipo de análisis es necesario organizar las palabras clave por grupos en periodos de tiempo, esto facilita hallar los cambios temáticos en las disciplinas en un espacio temporal determinado. También permite la verificación de las palabras clave que han evolucionado o han permanecido en un periodo de tiempo. Esto significa que el AC muestra las tendencias temáticas y su evolución en un período de tiempo (Neff y Corley, 2009). Sin embargo,

el AC tiene limitaciones, debido a que las palabras clave son normalizadas en los procesos editoriales para facilitar la indexación, también su asignación depende de las políticas internas de cada revista, lo cual incluye cierta subjetividad y sesgos que pueden interferir en las temáticas que están presentes o ausentes en un AC.

Por lo anterior, el análisis de una revista especializada en el área de IA cubre relevancia, ya que permitió identificar las tendencias temáticas en ese campo del conocimiento. Por ello se seleccionó la revista *Artificial Intelligence Journal* (AIJ) con ISSN 0004-3702, publicada ininterrumpidamente desde 1970, su proceso de edición y difusión está a cargo de Elsevier. Los artículos que se publican en esta revista se desprenden de investigaciones relacionadas con la inteligencia artificial (IA), es una de las revistas con mayor amplitud temáticas en IA (*Artificial Intelligence Journal*, 2021). La AIJ difunde artículos en las áreas temáticas incluidas en Scopus: arts and humanities: language and linguistics; social sciences: linguistics and language; y computer science: artificial intelligence.

De acuerdo con lo anterior, es una revista especializada en AI, lo cual le asigna valor agregado para realizar un análisis de copalabras fundamentalmente por cuatro razones. Primero, continuidad en la periodicidad; segundo, es especializada; tercero, tiene un comité editorial conformado por miembros afiliados a universidades anglosajonas, asiáticas y europeas, es decir, es una revista con una cobertura internacional; y cuarto es una revista en IA que se publica desde la década de los setenta, es decir, que da cuenta de la evolución de los resultados de investigación difundidos en esta área desde hace más de seis décadas.

A partir de las palabras clave agregadas en los artículos publicados en la AIJ durante 54 años, este trabajo tiene como objetivo general realizar un análisis de copalabras para la identificación de las temáticas de investigación que se han usado en la esta revista relacionadas con IA. Para lograr este propósito se propusieron los objetivos específicos de identificar las tendencias temáticas; y determinar la evolución de estas temáticas en el tiempo. Este artículo intentará dar respuesta a las preguntas: ¿cuáles son las tendencias temáticas de investigación dominantes en la revista? y ¿cómo han evolucionado en el tiempo? Estas temáticas se analizaron teniendo en cuenta las medidas de centralidad, intermediación y modularidad, entre otras.

2 Revisión de literatura

LA IA es una disciplina que se ha centrado en estudiar la inteligencia, aunque no es la única que se ha preocupado por entender cómo funciona la inteligencia humana, pues, desde hace más de dos mil años la filosofía ha estudiado “cómo se ve, se aprende, se recuerda y se

razona, así como la manera en que esas actividades deberían realizarse” (Ponce Cruz, 2010, p. xxiii). Estas mismas preocupaciones las tienen los investigadores dedicados a la IA. Por ello, este concepto se creó en una reunión llevada a cabo en Dartmouth (Estados Unidos) en el año de 1956 en la que participaron J. McCarthy, M. Minsky, N. Rochester y C. E. Shannon, quienes se consideran en la literatura como los primeros investigadores del área y quienes usaron por primera vez el término inteligencia artificial (Torra, 2011). Según Ponce Cruz (2010, p. 1), “la IA es una rama de las ciencias computacionales que se ocupa de los símbolos y métodos no algorítmicos para la resolución de problemas”. Para su estudio se han adoptado cuatro enfoques: primero, actuar como humano: el enfoque de la prueba de Turing. Según este enfoque, un computador debe ser capaz de: procesar un lenguaje natural; representar el conocimiento; y razonar automáticamente. Segundo, pensar como humano, es decir, el enfoque del modelo cognoscitivo. Tercero, pensar racionalmente, en otras palabras, el enfoque de las leyes del pensamiento. Cuarto, actuar en forma racional, es decir, el enfoque del agente racional (Ponce Cruz, 2010).

La literatura que se encontró no se aglutina en los enfoques anteriores, sino que se organizó con base en el enfoque de la investigación en sí misma. Esta revisión de literatura contempla tres aspectos: el progreso, las aplicaciones y el análisis de la producción académica sobre esta área. Sobre el primer aspecto Rezazadegan, Sharifzadeh y Magee (2024) analizaron la cuantificación del progreso de la inteligencia artificial, por medio del uso de la tasa de mejora tecnológica. Jiang *et al.* (2022), realizaron un análisis exhaustivo de la difusión internacional de la tecnología en IA en patentes publicadas en los años que van de 1970 a 2019.

En relación sobre el segundo aspecto Bornmann, Wu y Ettl (2024), usaron el ChatGPT para identificar artículos disruptivos en la ciencia. Ali, Halim y Hussain (2023), usaron la IA para la categorización de los científicos utilizando la clasificación basada en la autoría, la experiencia, el número de publicaciones, el total de citas, el índice i10 y el índice h. Abas et al. (2019) identificaron las aplicaciones en IA para la ciberseguridad.

En cuanto al tercer aspecto Cao et al. (2024) usaron el método de incrustación de palabras para determinar las redes de copalabras actuales y así identificar las palabras clave fundamentales en las comunidades académicas. Gómez-Espés, Färber y Jatowt (2024), estudiaron los beneficios de la colaboración internacional en las ciencias de la computación, dentro de este campo incluyeron la IA. Tang, Li y Ma (2022), analizaron la colaboración internacional en más de un millón de artículos. Chavarro, Pérez-Taborda y Ávila (2022), analizaron la inclusión de los objetivos de desarrollo sostenible en la investigación publicada en la base de datos Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE Xplore). Zhang et al. (2019) analizaron las publicaciones sobre IA con índices alométricos.

En las publicaciones revisadas no se encontraron artículos u otro tipo de documento que apliquen el análisis de copalabras a los artículos publicados en una publicación periódica sobre IA.

3 Metodología

Se exportaron 3.369 referencias bibliográficas de los artículos publicados por la revista *Artificial Intelligence Journal (AIJ)* con ISSN 0004-3702 que es indexada en la base de datos Web of Science (WoS) y Scopus. Se tomaron los artículos académicos desde 1970 a 2024. Las referencias bibliográficas extraídas del WoS fueron agregadas a una base de datos diseñada en EndNote (Versión X8) (EndNote, 2014). Las unidades de análisis del estudio fueron las palabras clave que aparecen agregadas en 3.050 artículos. No se agregaron 319 artículos, ya que no incluyen palabras clave, porque en su mayoría son notas editoriales o reseñas de libros que fueron publicados en los números correspondientes a los años de 1970 a 1972, 1975 a 1995, 2001 a 2011, 2013 a 2017, 2019, 2020 y 2022 a 2024. Para realizar el análisis de copalabras se utilizó el lenguaje de programación R en el entorno integrado (EDI) RStudio (Versión 4.3.1) (RStudio Team, 2020).

Las palabras clave se normalizaron para evitar la sinonimia, se eliminaron palabras vacías como artículos (a, an y the), preposiciones (above, across, along, around, in, on y at) y conjunciones (for, and, nor, but, or, yet y so). Con las palabras clave depuradas se generó una matriz de copalabras con el software BibExcel (Persson, et al., 2009) por cada periodo. Se usó el lenguaje de programación R con el paquete EDIutils (Smith *et al.*, 2023) y se corrió con la ayuda del paquete igraph (Csardi y Nepusz 2006) utilizando las funciones para obtener los grafos y medidas generales de la red y de cada una de las palabras clave de cada período.

Se obtuvieron las siguientes medidas por cada una de las redes de copalabras que se generaron: número de nodos o palabras clave; número aristas que son las relaciones entre palabra clave; grado que describe el número de vínculos que tiene un nodo o palabra clave; diámetro que se refiere al tamaño de la red; centralidad de intermediación que muestra el número de caminos más cortos de todas las palabras clave que pasan a través de otras palabras clave, y finalmente; y centralidad de cercanía, indicación de la longitud del camino mínimo que une a los nodos o palabras clave, en este caso los menores valores representan las palabras clave con mayor centralidad, es decir, más importantes o representativas (Kuz, Falcao y Giandini, 2016; Lerga-Manzano, 2017).

También se obtuvieron tres medidas para cada una de las palabras clave que forman las redes de copalabras. Primera, grado que se define como el número de vínculos que tienen las

palabras clave. Segunda, centralidad de cercanía que muestra el valor de la longitud del camino mínimo o cantidad de aristas que separan una palabra clave de otra, las palabras clave con el menor valor es considerada más central. Tercero, centralidad de intermediación, que es el número de rutas mínimas que conectan a otras palabras clave que están separadas; se considera que un valor alto tiene una gran influencia en la transferencia de la información.

El análisis de redes de copalabras se dividió en cinco décadas con base en la evolución que ha tenido desde sus inicios la IA. Estos avances son sugeridos por varios autores, entre ellos Benítez Iglésias (2014); Caballero y Martín (2022); y Macías-García (2024). Cabe aclarar que la quinta década supera los diez años, con el fin de identificar las tendencias temáticas de este último periodo que cubre cuatro años más.

Primera de 1970 a 1980, la década de los setenta es considerada la época de invierno de la IA, ya que los sistemas se enfrentan a problemas de capacidad de procesamiento y memoria.

Segunda de 1981 a 1990, en esta década puntualmente en el año de 1986 se publicó un artículo titulado *Learning representations by back-propagating errors* de David E. Rumelhart, Geoffrey Hinton y Ronald J. Williams, quienes popularizaron el algoritmo de retropropagación para entrenar redes neuronales multicapa. También en 1986 Michael Jordan introdujo arquitectura para el aprendizaje supervisado en secuencias de datos. En 1990 el empresario Hugh Loebner y el Cambridge Center for Behavioral Studies instauraron el premio Loebner. En general, esta década es considerada la época en la que empezaron a desarrollarse las primeras aplicaciones comerciales de la IA, dirigidas a solucionar los problemas de producción, control de procesos o contabilidad (Benítez Iglesias, 2014).

Tercera de 1991 a 2000, se creó Deep Blue, una computadora que jugaba ajedrez y derrotó a Garry Kasparov en 1996. En 2000 Honda Robotics creó un robot llamado Advanced Step in Innovative Mobility (ASIMO) (Benítez Iglésias, 2014).

Cuarta de 2001 a 2010, puntualmente en el año 2001 Google con el aprendizaje automático incluyó el corrector de ortografía. En el año de 2002 se lanzó el primer robot comercial para el hogar, una aspiradora autónoma llamada Roomba. En el año de 2006 Google lanzó el traductor que usa aprendizaje automático para traducir en diferentes idiomas. En el año de 2009 se creó Imagenet (<https://www.image-net.org/>), proyecto que reúne una base de datos visual, diseñada para el reconocimiento de objetos visuales. También el aprendizaje automático y las redes neuronales experimentan un renacimiento (Benítez Iglésias, 2014).

Quinta de 2011 a 2024, se hicieron avances significativos en la traducción automática y conducción autónoma en el año 2011. Amazon lanzó Alexa en 2014, un asistente virtual inteligente con interfaz de voz. En el año de 2021 se comenzó la creación de imágenes, música

y código a partir de descripciones textuales. En el año de 2022 se lanzó Chatbot de OpenAI. En el año de 2023 Google lanzó Gemini, entre otros avances (Macías-García, 2024).

4 Resultados

4.1 Temáticas publicadas desde 1970 hasta 2020

Los temas tratados en los artículos que se han publicado en la revista AIJ han evolucionado conforme al desarrollo de la inteligencia artificial. En la década del 70 destacan systems science and cybernetics, computer programming y autómata theory, mientras que en la década del 80 sobresale artificial Intelligence, systems science and cybernetics y computer programming, entre otros (Tabla 1).

Tabla 1. Palabras clave usadas en los artículos en las décadas de 1970 a 2024

Década	Palabras clave	Frecuencias
1970-1980	Systems science and cybernetics	40
	Computer programming	36
	Automata theory	18
	Systems science and cybernetics - artificial intelligence	13
	Pattern recognition systems	11
1981-1990	Artificial intelligence	162
	Systems science and cybernetics	65
	Computer programming - algorithms	36
	Computer vision	23
	Systems science and cybernetics - cognitive systems	20
	Image processing	19
1991-2000	Computer metatheory	17
	Artificial intelligence	557
	Algorithms	198
	Computational complexity	155
	Formal logic	154
	Mathematical models	131
	Knowledge representation	115
2011-2024	Problem solving	113
	Artificial intelligence	200
	Semantics	190
	Multi agent systems	110
	Computer circuits	109
	Knowledge Representation	102
	Computational complexity	96

Fuente: elaboración propia

La IA se comenzó a desarrollar en la década del 60, esto contrasta con la aparición de la revista AIJ que comenzó a editarse diez años después. En esta primera década de publicación los artículos se centran en los lenguajes de programación, esto concuerda con las tendencias de esta temática durante las décadas del 70 y 80(Ponce Cruz, 2010).

Las temáticas que aparecieron en la década del 2000 son: algorithms, semantics, heuristic methods y game theory, entre otras. Estas temáticas se consolidan en las décadas del

2010 y 2020; sin embargo, aparecen otras palabras clave como computer circuits, learning algorithms, polinomial approximation y reinforcement learning, entre otras (Tabla 1).

Las temáticas que predominaron en la década del 90 tienen relación con una de las preocupaciones de procesar grandes cantidades de información. Mientras que en la década del 2000 y 2010 las preocupaciones de los investigadores en IA era desarrollar la robótica. Si bien es cierto en la lista de términos no aparece la palabra clave “robot”; no obstante, términos como *multi agent systems* y *learning systems*, entre otras palabras clave están relacionadas con los autómatas. En estas tres décadas ha sido constante la publicación de los artículos sobre algoritmos y lógica (Ponce Cruz, 2010).

4.2 Red de copalabras

De 1970 a 1980 publicó 187 artículos con un promedio anual de 18,7 artículos, incluyó un total de 110 palabras clave; de 1981 a 1990 publicó 432 artículos con un promedio anual de 43,2 artículos, incluyó un total 777 palabras clave diferentes; de 1991 a 2000 publicó 873 artículos con un promedio anual de 87,3 artículos e incluyó 1001 palabras clave diferentes; de 2001 a 2010 publicó 663 artículos con un promedio anual de 66,3 artículos e incluyó 1001 palabras clave; y de 2011 a 2024 publicó en catorce años 1214 artículos con un promedio anual de 86,71 artículos e incluyó 1001 palabras clave diferentes.

La Tabla 2 presenta las medidas generales de las redes de copalabras de las cinco décadas en las cuales se dividió este análisis.

Tabla 2. Medidas generales de la red de copalabras por décadas

Medidas redes de copalabras	1970-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2024
Nodos	11	9	26	38	20
Vértices	11	10	55	43	40
Grado	2	2,2	4,23	2,26	4
Diámetro	1	3	3	4	4
Densidad	0,1	0,13	0,08	0,03	0,1
Radio	2	1	1	1	2
Número de triángulos	0	5,3	235,66	129	182,33
Modularidad	0,27	0,18	0,04	0,56	0,13
Comunidades	5	2	16	10	3

Fuente: elaboración propia.

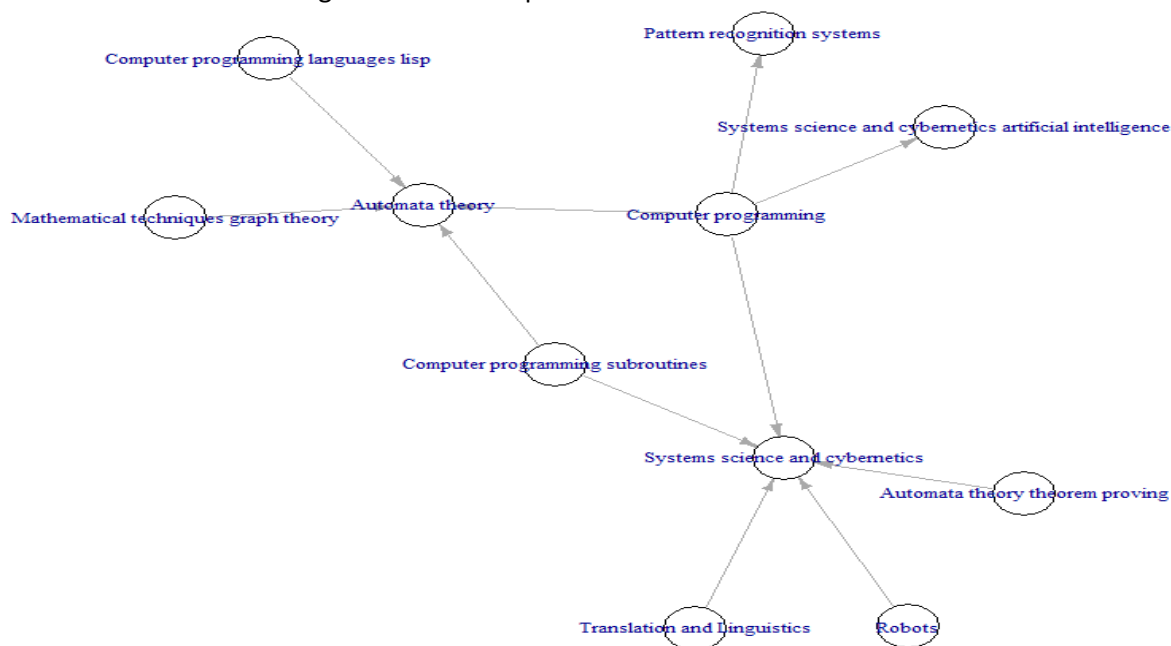
4.2.1 Década de 1970 a 1980

Está formada por once palabras clave o nodos con once relaciones o aristas y un promedio de dos vínculos. Es una red dispersa, porque tiene un diámetro de uno. Está formada

por cinco comunidades, con una centralidad de intermediación de 123 caminos más cortos entre las palabras clave que conforman la red para interactuar entre sí (Tabla 2).

Las palabras clave con el mayor número de vínculos o grado son: systems science and cybernetics (5), computer programming(4), autómata theory (4), y computer programming subroutines (2). No se hallaron palabras clave más próximas o más importantes (centralidad de cercanía) ni influyentes en la transferencia de la información (centralidad de intermediación) (Figura 1).

Figura 1. Red de copalabras de 1970 a 1980



Fuente: elaboración propia

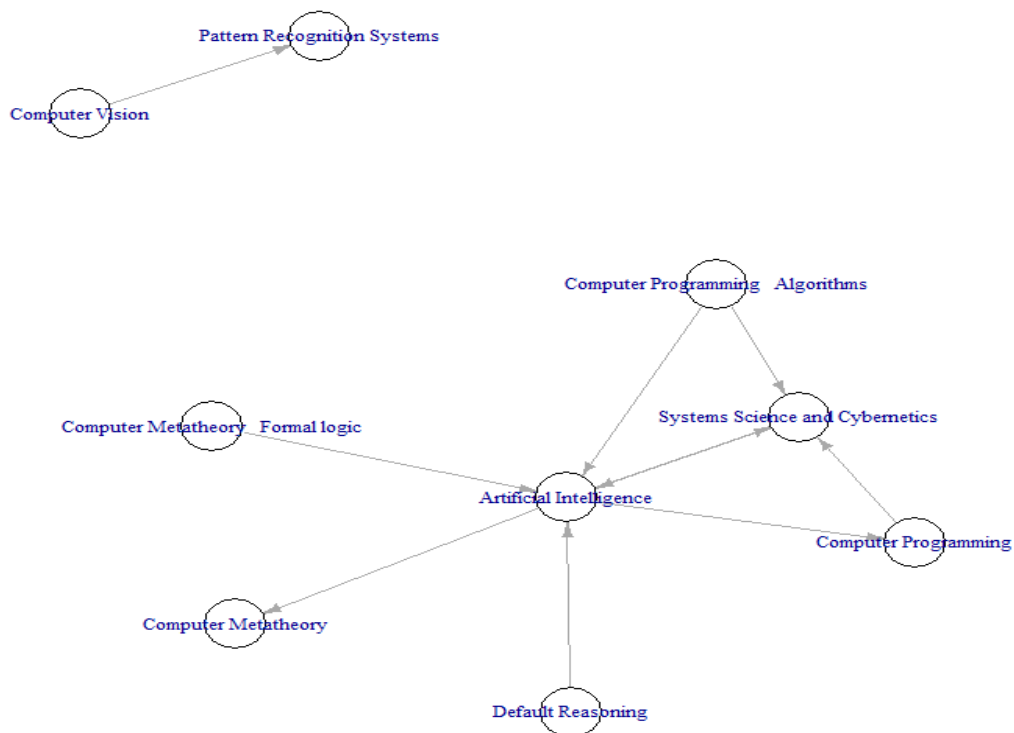
En esta década hay una preocupación latente en la literatura por las implicaciones de la IA en el conocimiento humano, o bien, por intentar simular el pensamiento (Duo, 1972; Newell, Simon y Seoane, 1974). Sin embargo, estas preocupaciones no están implícitas en las palabras clave encontradas en esta década. La AIJ muestra otros intereses temáticos relacionados con la lógica y los lenguajes de programación.

4.2.2 Década de 1981 a 1990

Está formada por nueve palabras clave o nodos con diez relaciones o aristas y un promedio de dos vínculos. Es una red dispersa, porque tiene un diámetro de uno y no hay una relación estrecha entre sus palabras clave. Tiene cinco de agrupamiento entre nodos, una división entre grupos de 0,18 y está formada por dos comunidades (Tabla 2).

Las palabras clave con el mayor número de vínculos o grado son: artificial intelligence (7), systems science and cybernetics (4) y computer programming algorithms (2). Las palabras clave más próximas o más importantes (centralidad de cercanía) son: computational methods, approximation theory, data structures, decision theory, graph theory, nonmonotonic reasoning, optimization, planning y probability (obtuvieron el menor valor de 0,03). Las palabras clave con influencia en la transferencia de la información (centralidad de intermediación) son: computational complexity (51,5), formal logic (54,5) y artificial intelligence (212) (Figura 2).

Figura 2. Red de copalabras de 1981 a 1990



Fuente: elaboración propia

Durante esta década las preocupaciones filosóficas sobre la IA siguen vigentes en la literatura (Sans Pascual, 1988), también aparecen trabajos sobre aplicaciones relacionadas con el diagnóstico médico (Negrete Martínez, 1990), con la arqueología (Galán Saulnier; Poyato Holgado; Sánchez Meseguer, 1988), y con la agricultura (Berbel Vecino, 1989). Estas tendencias temáticas no están presentes en la revista, quizá porque el enfoque de la revista es computacional, aunque el alcance de esta revista cubre varias áreas del conocimiento, en estas primeras dos décadas hay una tendencia en los artículos publicados hacia la informática.

4.2.3 Década de 1991 a 2000

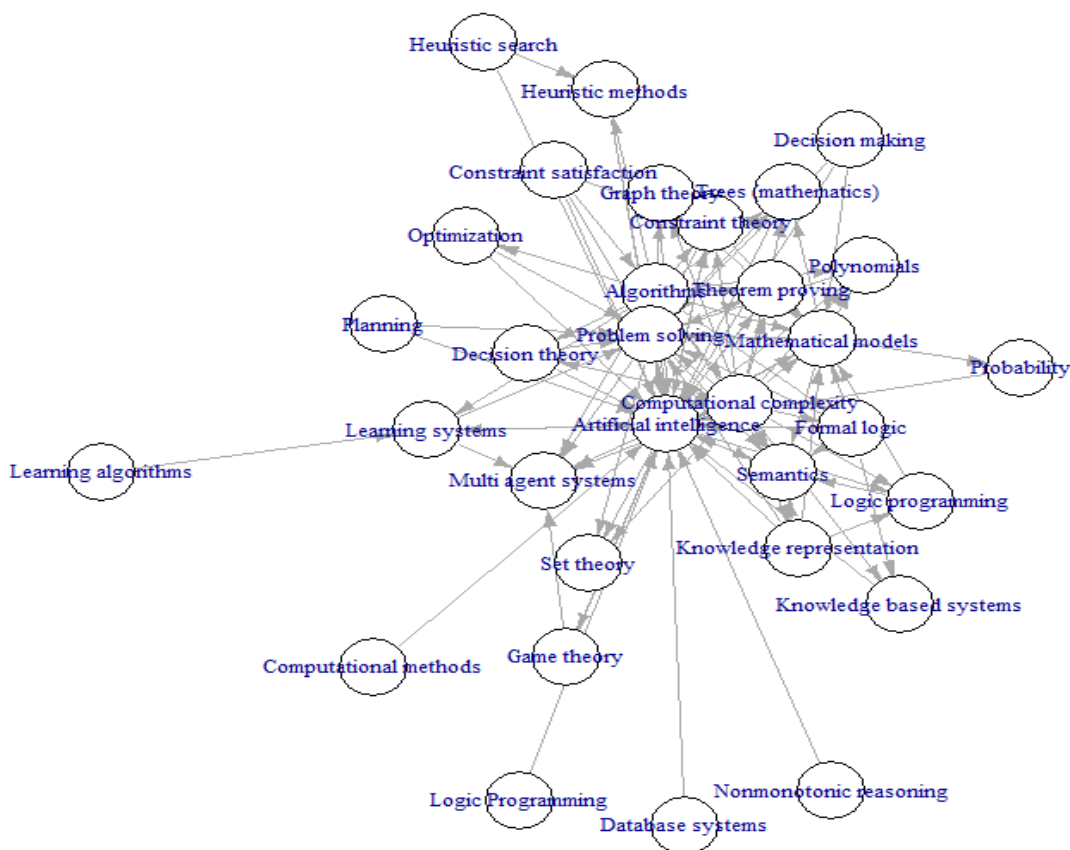
en la educación (Gross y Rodríguez Illera, 1991; Gross, 1992); sin embargo, no se encontraron artículos publicados en esta revista sobre aplicaciones de la IA en la educación.

4.2.4 Década de 2001 a 2010

Está formada por 38 palabras clave o nodos con 43 relaciones o aristas y un promedio de dos vínculos. Es una red dispersa, porque tiene un diámetro de cuatro y no hay una relación estrecha entre sus palabras clave. Tiene medida de 129 de agrupamiento entre nodos y con una división entre grupos de 0,56. Está formada por diez comunidades (Tabla 2).

Las palabras clave con influencia en la transferencia de la información (centralidad de intermediación) son: data description (18), computer circuits (16), semantics (9) y knowledge representation (7) (Figura 4).

Figura 4. Red de copalabras de 2001 a 2010



Fuente: elaboración propia

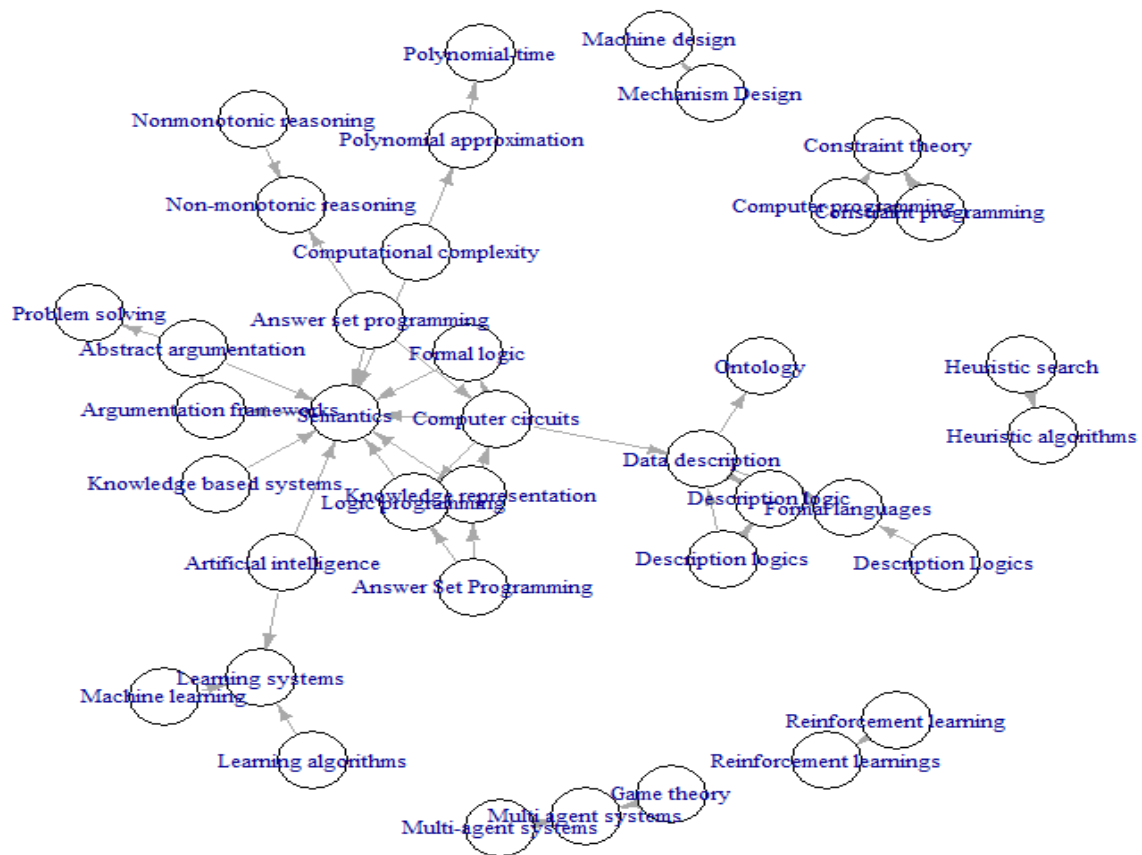
En estas palabras clave está ausente la ciberseguridad, aunque Abbas *et al.* (2019) encontraron que la IA es un tema central desde 2007 en las aplicaciones sobre ciberseguridad. Tampoco se evidencian asuntos relacionados con la ética que es un tema de discusión frecuente desde hace varias décadas (Zamorano Rojas, 2009; Castrillón, Rodríguez y Leyton, 2008).

4.2.5 Década de 2011 a 2024

Está formada por 20 palabras clave o nodos con 40 relaciones o aristas y un promedio de cuatro vínculos. Es una red dispersa, porque tiene un diámetro de cuatro y no hay una relación estrecha entre sus palabras clave. Tiene 182 de agrupamiento entre nodos, una división entre grupos de 0,13 y está formada por tres comunidades (Tabla 2).

Las palabras clave con el mayor número de vínculos o grado son: artificial intelligence (19), problem solving (12), computational complexity (8) y algorithms (6). Las palabras clave más próximas o más importantes (centralidad de cercanía) son: algorithms y learning algorithms con un valor de 0.07(Figura 5).

Figura 5. Red de copalabras de 2011 a 2024



Fuente: elaboración propia

Las palabras clave con influencia en la transferencia de la información (centralidad de intermediación) son: artificial intelligence (32), problem solving (20), learning systems (4) y computational complexity (3) (Figura 5). En las temáticas que más relaciones, importancia o mayor capacidad de intermediación presentaron en este análisis, no se encontraron palabras clave sobre ciencia, tecnología e innovación (CTI) y objetivos de desarrollo sostenible (Chavarro,

Pérez-Taborda y Ávila, 2022). Seguramente esto tiene relación con el alcance mismo de la revista; sin embargo, la inclusión del desarrollo sostenible “podría ayudar a diseñar estrategias para hacer que la IA sea más relevante frente a los grandes desafíos sociales” (Chavarro, Pérez-Taborda y Ávila, p. 7055, 2022) y pueda ayudar al ser humano a resolver grandes y graves problemas ambientales y sociales.

5 Conclusiones

La evolución de las temáticas sobre IA se evidencia en las palabras clave con el mayor número de vínculos en cada uno de los cinco periodos que se analizaron. Primera década (1970 a 1980) fueron *systems science*, *cybernetics*, *computer programming*, *automata theory* y *computer programming subroutines*. Segunda década (1981 a 1990) fueron *artificial intelligence*, *systems science and cybernetics* y *computer programming algorithms*. Tercera década (1991 a 2000) fueron *semantics*, *computer circuits* y *data description*. Cuarta década (2001 a 2010) fueron *artificial semantics*, *data description*, *computer circuits*, *knowledge representation*, *logic programming* y *game theory*. Quinta década (2011-2024) fueron *artificial intelligence*, *problem solving*, *computational complexity* y *algorithms*.

Estas temáticas muestran como en las décadas del 70 y del 80 los asuntos predominantes fueron *systems science and cybernetics* y *computer*, aunque en esta última década se sumó *computer programming algorithms*, esto muestra que en estas dos décadas las preocupaciones de los investigadores fueron similares. En la década del 90 aparecen *semantics*, *computer circuits* y *data description*. Para la década del 2000 continúan teniendo importancia *data description* y *computer circuits*. En ambas décadas la IA se dedicó a investigar sobre el procesamiento de grandes cantidades de datos para diferentes ámbitos. Mientras que en la década del 2010 aparecen las palabras clave *problem solving*, *computational complexity* y *algorithms*. Las tendencias temáticas del último período tienen una estrecha relación con los enfoques de IA propuestos por Ponce Cruz (2010), sobre todo con el enfoque de pensar como humano y actuar en forma racional, pues, es precisamente el estudio de la semántica lo que podrá posibilitar el propósito de superar la inteligencia humana para que la IA se continúe desarrollando vertiginosamente.

Según Ponce Cruz (2010), la IA se desarrolló en las décadas del 70 y del 80. Quizá por eso en la década del 80 aparece *computer programming algorithms*. En la década del 90 surgen otras preocupaciones temáticas como *semantics* y *computer circuits*, entre otras, lo que tiene relación con el desarrollo de las primeras aplicaciones comerciales que tuvieron como propósito resolver problemas de producción. Para la década del 2000 continúan teniendo importancia *data description* y *computer circuits*. La temática *data description* tuvo relevancia en la revista

durante dos décadas, dada la necesidad de organizar y analizar grandes cantidades de datos en la industria y la administración pública para la toma de decisiones. También *computer circuits* es una temática que estuvo presente en los artículos publicados en esta revista, porque la IA se ha propuesto la fabricación y la puesta en funcionamiento de robots que realicen actividades humanas. Sin embargo, en la década del 2010 hay cambios importantes, ya que aparecen las palabras clave *problem solving*, *computational complexity* y *algorithms*. Estas temáticas muestran la tendencia en la publicación en esa revista de mejorar los patrones diseñados para el aprendizaje automático, con el propósito de crear aplicaciones para traducción, corregir ortografía, reconocimiento de objetos visuales y conducción autónoma, entre otras (Benítez Iglesias, 2014).

Las palabras clave con la mayor transferencia de información muestran dinámicas propias del conocimiento, en relación con agotar la investigación en una temática y tiempo después dar paso a otras necesidades y problemas de investigación. Por ejemplo, en la década del 80 *computational complexity* y *formal logic*; en la década del 90 *data description*, *computer circuits*, *semantics*, *knowledge representation* y *description logic*; en la década del 2000 *data description*, *computer circuits*, *semantics* y *knowledge representation*; en la década del 2010 *problem solving*, *learning systems* y *computational complexity*. Estas palabras clave muestran lo interdisciplinar y lo complejo que es el campo de la IA, puesto que no se trata sólo de programar robots, sino de usar el conocimiento acumulado de varias disciplinas para poder lograr el propósito de superar la inteligencia humana.

6 Discusión

Los cambios temáticos que muestra el AC en la IA evidencian transformaciones en las temáticas publicadas en la revista objeto de este artículo, más aún cuando es un campo del conocimiento con grandes ambiciones y expectativas por imitar la inteligencia humana. Este propósito ha trazado en buena medida la investigación que se ha difundido en la publicación de artículos sobre este tema, tanto así que para Rezazadegan, Sharifzadeh y Magee (2024), la IA es una cuestión antigua y controvertida que se divide en tres grandes campos: IA simbólica, aprendizaje automático y redes neuronales. La IA simbólica reduce la IA a la manipulación de símbolos, mientras que el aprendizaje automático es el estudio de algoritmos que pueden aprender automáticamente de los datos. Las redes neuronales y el aprendizaje profundo intentan imitar el funcionamiento de las neuronas en el cerebro. Al revisar las palabras clave con el mayor número de vínculos la IA simbólica se muestra en las décadas del 70 y del 80; no obstante, la frontera entre el aprendizaje automático y las redes neuronales en las décadas del 90 al 2010 no se encuentran tan definidas como lo plantean estos autores. Se podría suponer

que los artículos publicados en IAJ han estado investigando sobre el logro del ideal propuesto desde sus orígenes por la IA de superar la inteligencia humana. Estos autores aplicaron la tasa de mejora tecnológica a las patentes citadas y encontraron que los subdominios de la IA como aprendizaje automático basado en reglas y aprendizaje multi tarea son las temáticas con los valores más altos. Estos resultados difieren de las palabras clave con el mayor número de vínculos y las palabras clave más próximas o importantes que se obtuvieron en este artículo. Quizá, por dos razones. Primera, el objeto de estudio de ambos artículos; segundo, el artículo de Rezazadegan, Sharifzadeh y Magee (2024) utilizó las citas de las patentes hasta diciembre del año 2020 en la base de datos Scopus, mientras que este estudio usa los artículos publicados en la revista AIJ.

También Zhang *et al.* (2019) analizaron los artículos de revistas y de conferencias sobre IA indexados en Scopus hasta abril de 2017. Encontraron que las cinco palabras clave más frecuentes en los artículos de conferencias son: artificial intelligence, algorithms, computer vision, neural networks e intelligent robots. Mientras que las cinco palabras clave más frecuentes en los artículos de revistas son: algorithms, artificial intelligence, neural networks, optimization y learning systems. Las palabras encontradas por estos autores tienen algunas similitudes en relación con las palabras clave encontradas en la revista AIJ; por ejemplo, en las décadas del 80 y 2011 una de las palabras con el mayor número de relaciones es artificial intelligence, así como en la década del 2011 es algorithms. Estas son las dos únicas palabras clave que coinciden con los datos obtenidos en esta investigación en relación con los de Zhang *et al.* (2019). Quizá, estos resultados difieren principalmente, porque Zhang *et al.* (2019) no analizaron los datos por periodos, sino de manera global y eso genera grandes diferencias en los resultados obtenidos.

A raíz de los resultados obtenidos en este artículo, es conveniente preguntarse por ¿cuáles son las implicaciones de estos cambios temáticos para el futuro de la investigación en IA? Las implicaciones son positivas y negativas como lo plantearon Chavarro, Pérez-Taborda y Ávila (2022). Las implicaciones positivas están relacionadas con mejorar la productividad empresarial, automatizar trabajos manuales y proporcionar un mayor control sobre la calidad de los productos, entre otros beneficios. Las implicaciones negativas se resumen en los efectos adversos en el medio ambiente, la economía y la sociedad. Aunque estos autores enfatizan en la necesidad de que la investigación y el desarrollo son una dupla que es vital para la innovación y el avance de la IA para el beneficio de la humanidad. Estas implicaciones positivas y negativas no son explícitas en las palabras clave que se encontraron en este estudio, porque el propósito de la revista es publicar artículos sobre el avance del campo en áreas como búsqueda heurística, robótica inteligente, representación del conocimiento, aprendizaje automático y sistemas

multiagente, entre otras, pero al parecer en la revista AIJ no es predominante la ética ni el desarrollo sostenible ni las aplicaciones en educación, agricultura y medicina, entre otras los artículos que se han publicado hasta el año 2024. Aunque sería importante que la revista incluyera artículos que traten sobre los aspectos éticos del uso de las tecnologías desarrolladas en el marco de la IA.

7 Limitaciones

El análisis de este artículo se limita a una única revista en el campo de la inteligencia artificial en idioma inglés, la cual representa una visión general de la IA, pero no profundiza las temáticas usadas en todo este campo de conocimiento. También es importante considerar que la confianza en las palabras clave proporcionadas por los autores puede ser sesgada en algunos casos. En cuanto a la elección de períodos, aunque se justificó, tiene cierto grado de arbitrariedad.

Bibliografía

ABBAS, N. N.; AHMED, T.; SHAH, S. H. U.; OMAR, M.; PARK, H. W. Investigating the applications of artificial intelligence in cyber security. **Scientometrics**, v. 121, p. 1189-1211, 2019.

ALI, N., HALIM, Z.; HUSSAIN, S. F. An artificial intelligence-based framework for data-driven categorization of computer scientists: a case study of world's top 10 computing departments. **Scientometrics**, v. 128, p. 1513-1545, 2023.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE JOURNAL. **About the Artificial Intelligence Journal**, 2021. Disponible en: <https://aij.ijcai.org/about-the-artificial-intelligence-journal/> Acceso en: 1 abr. 2025.

BORNMANN, L.; WU, L.; Ettl, C. The use of ChatGPT for identifying disruptive papers in science: a first exploration. **Scientometrics**, v. 129, p. 7161-7165, 2024.

BENÍTEZ IGLÉSIAS, R. (2014). **Inteligencia artificial avanzada**. Editorial UOC, 2014. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/pascualbravo/57582?page=20> Acceso en: 2 feb. 2025.

BERBEL VECINO, J. La inteligencia artificial en la agricultura: perspectivas de los sistemas expertos. **Revista de Estudio Agro-Sociales**, n. 149, p. 61-77, 1989.

CABALLERO, R.; MARTÍN, E. **Las bases de big data y de la inteligencia artificial**. Madrid: Catarata, 2022.

CAMBROSIO, A.; LIMOGES, C.; COURTIAL, J. P.; LAVILLE, F. Historical Scientometrics: Mapping Over 70 Years of Biological Safety Research with Co-word Analysis. **Scientometrics**, v. 27, p. 119-143, 1993.

CAO, X.; CHEN, X.; HUANG, L.; DENG, L.; CAI, Y.; REN, H. Detecting technological recombination using semantic analysis and dynamic network analysis. **Scientometrics**, v. 129, p. 7385-7416, 2024.

CASTRILLÓN, O.; RODRÍGUEZ, M. D.; LEYTON, J. Ética e inteligencia artificial ¿Necesidad o urgencia? **Memorias**, v. 3, n. 8, 2008.

CHAVARRO, D.; PEREZ-TABORDA, J. A.; ÁVILA, A. Connecting brain and heart: artificial intelligence for sustainable development. **Scientometrics**, v. 127, p. 7041-7060, 2022.

CSARDI, G.; NEPUSZ, T. The igraph software package for complex network research. **InterJournal Complex Systems**, n. 1695, 2006. Disponible en: <https://igraph.org>. Acceso en: 1mar. 2025.

DOU, Alberto. Implicaciones de la inteligencia artificial para el conocimiento humano. **Teorema: Revista internacional de filosofía**, v. 2, n. 7, p. 45-58, 1972.

GALÁN SAULNIER, C., POYATO HOLGADO, C., & SÁNCHEZ MESEGUER, J. Aplicaciones de inteligencia artificial y sistemas expertos a la arqueología: Un experto en economía del III milenio de la península ibérica. **Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad Autónoma de Madrid (CuPAUAM)**, n. 15, p. 69-104, 1988.

GÓMEZ-ESPÉS, A.; FÄRBER, M.; JATOWT, A. Benefits of international collaboration in computer science: a case study of China, the European Union, and the United States. **Scientometrics**, 129, p. 1155-1171, 2024.

GROSS, B. La inteligencia artificial y su aplicación en la enseñanza. **Culture and Education**, 1992, v. 4, n. 13, p. 73-80, 1992.

GROS, B.; RODRÍGUEZ ILLERA, J. L. Rodríguez. Inteligencia artificial y diseño de programas educativos. **Revista Española de Pedagogía**, v. 49, n. 188, 1991, p. 39-57, 1991.

JIANG, L.; CHEN, J.; BAO, Y.; ZOU, F. Exploring the patterns of international technology diffusion in AI from the perspective of patent citations. **Scientometrics**, v. 127, p. 5307–5323, 2022.

KUZ, A.; FALCAO, M.; GIANDINI, R. Análisis de redes sociales: un caso práctico. **Computación y Sistemas**, v. 20, n. 1, p. 89-106, 2016.

LERGA-MANZANO, J.T. **Análisis de series temporales mediante herramientas de redes compleja**. 2017. (Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Industrial) - Departamento Organización Industrial y Gestión de Empresas, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/5830/fichero/MemoriaPFC2017.pdf> Acceso en: 1 abr. 2025.

MACÍAS-GARCÍA, M. D. C. **El impacto de la robótica y la inteligencia artificial en la seguridad y salud de las personas trabajadoras**. Murcia, España: Laborum Ediciones, 2024. Disponible en: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/33531> Acceso en: 1 abr. 2025.

NEFF, M. W.; CORLEY, E. A. 35 years and 160,000 articles: a bibliometric exploration of the evolution of ecology. **Scientometrics**, v. 80, p. 659-684, 2009.

NEGRETE MARTÍNEZ, J. Beneficios de la inteligencia artificial en el diagnóstico médico. En **VII Mo. Curso Internacional Sobre Análisis de Decisiones y Computación en Medicina**. p. 51-60, 1990.

NEWELL, A.; SIMON, H. A.; SEOANE, J. Simulación del pensamiento humano. **Teorema: Revista Internacional de Filosofía**, v. 4, n. 3, p. 335-378, 1974.

SANZ PASCUAL, J. ¿Es posible la inteligencia artificial? **Diálogo filosófico**, v. 4, n. 10, p. 56-71, 1988.

PERSSON, O.; DANELL, R.; SCHNEIDER, J.W. How to use Bibexcel for various types of bibliometric analysis. En Åström, F.; Danell, R.; Larsen, B. y Schneider, J., ed. **Celebrating scholarly communication studies: a Festschrift for Olle Persson at his 60th Birthday**. Leuven, Belgium: International Society for Scientometrics and Informetrics, 2009, p.9-24. Disponible en: <https://portal.research.lu.se/ws/files/5414075/1459003.pdf#page=12>. Acceso en: 1 abr. 2025.

PONCE CRUZ, P. **Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería**. Alfaomega, 2010. RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R. Boston, RStudio, 2020. Disponible en: <http://www.rstudio.com/>. Acceso en: 1 abr. 2025.

REZAZADEGAN, R.; SHARIFZADEH, M.; MAGEE, C. L. (2024). Quantifying the progress of artificial intelligence subdomains using the patent citation network. **Scientometrics**, v. 129, p. 2559–2581, 2024.

RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, v. 323, n. 6088, p. 533-536, 1986.

SMITH, C.; GRIES, C.; LAI, J. PIRES R. **EDlutils: An API Client for the Environmental Data Initiative Repository in R**, 2023. Disponible en: <https://github.com/ropensci/EDlutils>. Acceso en: 1 abr. 2025.

TANG, X.; LI, X.; MA, F. Internationalizing AI: evolution and impact of distance factors. **Scientometrics**, v. 127, p. 181-205, 2022.

TORRA, V. La inteligencia artificial. **Revista Lychnos**: Fundación General del CSIC, diciembre de 2011.

WINTER, J. D. Can ChatGPT be used to predict citation counts, readership, and social media interaction? An exploration among 2222 scientific abstracts. **Scientometrics**, v. 129, p. 2469–2487, 2024.

ZAMBRANO SALAZAR, L. L.; GAMBOA LÓPEZ, E. K.; PICO NÚÑEZ, M. F. Desarrollo de sistemas de IA autónomos: avances, desafíos y consideraciones éticas. **Polo del Conocimiento**, v. 9, n. 6, p. 556-582, 2024.

ZAMORANO ROJAS, A. d. En busca del sujeto perdido: Inteligencia artificial. **Argumentos** v. 22, n. 60, p. 139-162, 2009.

ZHANG, X.; WANG, X.; ZHAO, H.; ORDÓÑEZ DE PABLOS, P.; SUN, Y.; XIONG, H. (2019). An effectiveness analysis of altmetrics indices for different levels of artificial intelligence publications. **Scientometrics**, v. 119, p. 1311-1344, 2019.

ANEXO

Código usado en RStudio

```
#Instalar paquetes requeridos para poder realizar el análisis  
installed.packages("igraph")
```

```

library(igraph)
installed.packages("tidygraph")
library(tidygraph)
install.packages("tidyverse")
library(tidyverse)
installed.packages("ggraph")
library(ggraph)

#cargar datos en formato .csv
data <- read.csv("20101.csv", header=T)
y <- data.frame(data$Palabra1, data$Palabra2, data$Grado)

#crear una red
edges <- c(1, 2, 1, 3, 2, 3)
net <- graph(edges)

#establecer márgenes más pequeños
par(mar = c(3, 3, 1, 1))

#crear el histograma del grado de los nodos
hist(degrees,
      col = 'yellow',
      main = 'Histogram of Node Degree',
      ylab = 'Number of nodes',
      xlab = 'Degree of vertices')

net <- graph.data.frame(y, directed = T)
V(net)
V(net)$label <- V(net)$name
V(net)$degree <- degree(net)
hist(V(net)$degree,
      col = 'yellow',
      main = 'Histogram of Node Degree',
      ylab = 'Number of nodes',
      xlab = 'Degree of vertices')

#Network diagram only shows connections
set.seed(222)
plot(net,
      vertex.color = 'white',
      vertex.size = 2,
      edge.arrow.size = 0.2,
      vertex.label.cex = 0.8)

is.finite(V(net)$degree)

plot(net,
      vertex.color = rainbow(52),
      vertex.size = V(net)$degree * 0.4,
      edge.arrow.size = 0.1,
      layout = layout.fruchterman.reingold)

#calcular las medidas de la red de copalabras

```

```
#calcular el grado de centralidad
degree_centrality <- degree(net)

#calcular betweenness centrality
betweenness_centrality <- betweenness(net)

#calcular closeness centrality
closeness_centrality <- closeness(net)

#número de nodos
num_nodos <- vcount(net)

#número de aristas
num_edges <- ecount(net)

#calcular comunidades utilizandomultilevel.community
communities <- multilevel.community(net)

#grado medio
avg_degree<- mean(degree(net))

#diámetro
diameter<- diameter(net)

#densidad
density<- graph.density(net)

#radio
radius<- radius(net)

#número de triángulos
num_triangles <- sum(triangles(net) / 3)

#calcular comunidades utilizando edge.betweenness.community
communities <- edge.betweenness.community(net)

#calcular la modularidad basada en las comunidades detectadas
modularity_value <- modularity(communities)

#clustering coefficient
clustering_coefficient <- transitivity(net, type = "local")
```