


La Inteligencia artificial en la Ingeniería de requerimientos: un estudio de mapeo sistemático

Artificial intelligence in requirements engineering: a systematic mapping study

^a.Magreth Rossio Sanguino-Reyes, ^b.Byron Cuesta-Quintero

 a.Magíster en Gobierno de las Tecnologías de la Información mrsanguinor@ufpso.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia

 b.Magíster en Software Libre byroncuesta@ufpso.edu.co Universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña, Colombia

Recibido: Julio 1 de 2021 Aceptado: Noviembre 8 de 2021

Forma de citar: M.R Sanguino-Reyes, B. Cuesta-Quintero “ La inteligencia artificial en la Ingeniería de requerimientos: un estudio de mapeo sistemático”, *Mundo Fesc*, vol. 12, no. S2, pp. 233-248, 2022

Resumen

A medida que el software permea todos los ámbitos de la sociedad, se hace imprescindible la entrega de productos de calidad que satisfagan las demandas de las partes interesadas y es así, como la industria del software siempre tiene como reto mejorar sus actividades de desarrollo. La inteligencia artificial se ha utilizado con éxito en las actividades del desarrollo de software; identificar su potencial para mejorar la productividad en los equipos de desarrollo de software en la ingeniería de requerimientos, define el objeto de estudio. La investigación utilizó el mapeo sistemático para identificar el aporte de la inteligencia artificial en las prácticas de ingeniería de requerimientos entre 2010 y 2021. La ejecución de la metodología permitió dar respuesta a las preguntas de investigación a partir de veintiún estudios que fueron seleccionados basados en la definición de los criterios de inclusión y exclusión. Los resultados revelaron que, la relación entre la Inteligencia Artificial y la Ingeniería del Software se da de forma complementaria para permitir su aplicación en la automatización de actividades de desarrollo. Esta tendencia con respecto al uso de técnicas de inteligencia artificial, sugiere caminos para mejorar los tiempos de entrega y la calidad de los productos software.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Ingeniería de software; Ingeniería de requerimientos; Proceso de desarrollo

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: mrsanguinor@ufpso.edu.co



Abstract

As software permeates all areas of society, it becomes essential to deliver quality products that meet the demands of stakeholders and thus, the software industry is always challenged to improve its development activities. Artificial intelligence has been successfully used in software development activities; identifying its potential to improve productivity in software development teams in requirements engineering defines the object of study. The research used systematic mapping to identify the contribution of artificial intelligence in requirements engineering practices between 2010 and 2021. The execution of the methodology allowed answering the research questions from twenty-one studies that were selected based on the definition of inclusion and exclusion criteria. The results revealed that the relationship between Artificial Intelligence and Software Engineering is complementary to allow its application in the automation of development activities. This trend regarding the use of artificial intelligence techniques suggests ways to improve delivery times and quality of software products.

Keywords: Artificial intelligence; Software Engineering; Requirements Engineering; Development process.

Introducción

Hoy en día, la Inteligencia Artificial es usada con mayor frecuencia como un componente fundamental en el desarrollo de software; hace uso de métodos y técnicas que posibilitan una mayor adaptación a las necesidades del usuario final, mediante la automatización de tareas, la clasificación de datos, la predicción y el aprendizaje [1]. Estas técnicas tienen su aplicación e impactan de manera significativa en las distintas áreas de la disciplina de la ingeniería de software y es así como la industria y la academia centran sus esfuerzos de investigación alrededor de estos temas [2]. En la misma línea, existe un interés especial por identificar de manera específica, el aporte de la Inteligencia Artificial al proceso de Ingeniería de Requerimientos como fase fundamental del ciclo de desarrollo de software, en aras de maximizar la eficiencia del equipo de trabajo y posibilitar el éxito del proyecto [3].

La forma como se desarrolla software sigue una línea que se adapta a las necesidades de la actualidad y esto repercute la adopción de prácticas que permitan a los equipos de desarrollo, gestionar el cambio en los requisitos para

garantizar su correcta implementación en el software a desarrollar [4]. Aun así, los fallos asociados con la comunicación con las partes interesadas en el proceso de elicitación siguen siendo caros y repercuten de manera directa en el plan de entregas del producto [5][6]. Las técnicas de Inteligencia Artificial ofrecen una solución para mitigar los problemas presentados en las fases de desarrollo de software en la ingeniería de requerimientos.

Este planteamiento ha motivado la presente investigación mediante un mapeo sistemático de la literatura de acuerdo con lo propuesto por Petersen y otros [7]. El propósito fundamental de este trabajo es analizar la contribución de la Inteligencia Artificial en las prácticas de Ingeniería de Requerimientos, identificando los estudios existentes en el área de conocimiento, para proporcionar soluciones que permitan afrontar las dificultades que se presentan en esta fase del proceso y aumentar con ello, las probabilidades de éxito en el mismo.

Inteligencia artificial

La Inteligencia artificial (IA), se define como la capacidad de las máquinas

para aprender de la experiencia, y realizar comportamientos de humanos. De esta manera, las máquinas son más inteligentes y se apoyan en técnicas como las redes neuronales, lógica difusa y computación evolutiva [8]. En este sentido Brooks [9], se refirió a IA como la forma en que las computadoras hacen cosas, que hacen las personas. Además, entendía la inteligencia como cosas que hacen los humanos casi todo el tiempo, en el contexto de una noción más informal y así evitar discusiones filosóficas. El término “inteligencia artificial”, surgió en el año 1956 en un congreso en Estados Unidos, donde se hizo referencia a las máquinas y su capacidad para mostrar habilidades propias del razonamiento humano. Inicialmente tuvo un enfoque orientado a problemas como teoremas y deducciones lógicas. Luego, abordó el procesamiento de señales y sistemas adaptativos orientados a la locomoción de robots. Hoy en día, los trabajos se orientan a la automatización de procesos, algoritmos de búsqueda, procesamiento de lenguaje natural, reconocer si un usuario no es un programa automático, reconocimiento de patrones, la conducción automatizada, entre otros [10].

Ingeniería de requerimientos

La ingeniería de requerimientos (IR) denota tanto el proceso de especificar requisitos mediante el estudio de las necesidades de las partes interesadas, como el proceso de analizar y perfeccionar sistemáticamente esas especificaciones [11]. Este, es un proceso creativo para la resolución de problemas, cuyo objetivo fundamental es permitir que los investigadores y profesionales del área, apliquen técnicas, modelos y herramientas idóneas para

comprenderlo de manera efectiva. El éxito o el fracaso en el desarrollo de software, dependen de la rigurosidad con la que se haya ejecutado la fase de ingeniería de requerimientos.

Las actividades de ingeniería de requerimientos representan actividades o fases que inician con la fase de elicitación, la cual permite identificar o descubrir los requerimientos y de esta manera proporcionar una descripción del software que se está especificando y su propósito, luego sigue la fase de análisis, donde los requisitos son representados y clasificados con un nivel de detalle para garantizar consistencia y completitud, sigue la fase de documentación o especificación, la cual permite documentar o especificar los requisitos software, continúa la fase de validación, que permite evaluar, verificar y negociar los requisitos con los stakeholders y finaliza con la fase de gestión, que permite administrar los cambios de los requisitos [12].

El proceso de requisitos abarca todo el ciclo de vida del software. Las fases de la ingeniería de requerimientos pasaron de ser lineales a tener una naturaleza iterativa, de ahí la necesidad de entender que una porción significativa de los requisitos cambiará. Esto puede surgir debido a errores en el análisis o por cambios en el entorno operativo del cliente. La gestión de cambio, debe permitir el rastreo de requisitos y análisis de impacto [13].

Problemas de la ingeniería de requisitos

La ingeniería de requerimientos impacta de forma directa en la calidad del software a desarrollar. Esta fase

de la ingeniería del software no es ajena a problemas que repercuten en la construcción del software, debido a actividades poco eficientes en cada una de sus fases. De esta forma, surgen requisitos ambiguos que afectan la completitud de los mismos o que son definidos de forma vaga o imprecisa por errores en la comunicación con las partes interesadas, pues puede ocurrir que no saben qué quieren o no saben expresar los requisitos. También hay factores asociados con la baja participación de los usuarios en la elaboración de los requisitos, lo que conlleva a no poder validarlos de forma precisa, dando lugar a requisitos conflictivos y no encontrar con quien negociar su especificación. Además, se afecta principalmente la trazabilidad, la cual define la gestión de cada uno de los requerimientos desde su concepción hasta su implementación en el código fuente [14][15][16].

Antecedentes

Harman [17] presenta una investigación donde se muestra la relación entre la IA y la ingeniería del software. Se indica como las técnicas de IA permiten optimizar las fases del ciclo de desarrollo de software y, además muestra estudios en este campo orientados a áreas donde sobresalen la ingeniería de software basada en búsquedas, los métodos difusos y probabilísticos y la clasificación, aprendizaje y predicción en la ingeniería del software.

Para Tao [18], el concepto de la ingeniería de software inteligente, representa un campo que inicia con reconocer la aplicación de la IA para resolver problemas de ingeniería del software con el apoyo de herramientas automatizadas, y se orienta con buscar

soluciones inteligentes en el marco de la productividad y confiabilidad de software para IA, el cual se conoce como ingeniería del software para software inteligente. En el contexto de software inteligente Feldt et al [19], citan a varios autores para indicar cómo es posible empaquetar y reutilizar componentes de IA mediante APIs RESTful que representan servicios que pueden ser explotados como componentes automatizados dispuestos en la nube, que usan tecnologías relacionadas principalmente con redes neuronales y que pueden servir de apoyo a las diferentes fases del desarrollo de software. Por su parte, Haider et. al [20] proponen un marco conceptual para la priorización y trazabilidad de requisitos de software, utilizando la técnica de IA que soporta el entorno de Desarrollo de Software Global (GSD), para mejorar la comunicación, la coordinación y el control de las partes interesadas, con el fin de reducir el esfuerzo humano y promover la calidad en el proceso de desarrollo de software. A partir de la revisión de literatura hecha por los autores, éstos encontraron grandes deficiencias en aspectos fundamentales de la ingeniería de requisitos, como la escasa interacción entre los interesados, la falta de integración de nuevos requerimientos y la falta de análisis de expertos para mejorar la comprensión de los mismos; razón por la cual, proponen una estrategia de priorización y trazabilidad de requisitos, para que el trabajo de los analistas sea mucho más sencillo.

Wangoo [21] analiza el papel de la IA en el campo de la ingeniería de software para reafirmar el concepto de inteligencia de software, a partir de los aportes de la minería de datos, la inteligencia artificial y la ingeniería de software, y orientarlo hacia la automatización de

todo el proceso de desarrollo de software. Así mismo, afirma que la integración de diversas técnicas de inteligencia artificial, promueve la reutilización automatizada de software, favoreciendo el desarrollo de software inteligente.

Sumado a lo anterior, Dam [22] afirma que, en desarrollo ágil, la IA, puede ser utilizada para mantener la consistencia en el proceso de estimación de historias de usuario, mediante un sistema de aprendizaje profundo de las características semánticas de estas historias, proporcionando estimaciones precisas del esfuerzo necesario para completar cada historia; este hecho podría facilitar la planificación en un proyecto de desarrollo de software y mejorar la productividad del equipo de trabajo.

En el campo de la ingeniería de software se han utilizado múltiples técnicas de inteligencia artificial que cubren las distintas fases del proceso de desarrollo. En este sentido, F. A. Batarseh et. al [23] afirman que cuando se analizan las fases de la ingeniería de software (requisitos, diseño, desarrollo, pruebas, lanzamiento y mantenimiento), es claro comprender que se puede y se necesita aplicar paradigmas de inteligencia artificial para optimizar el proceso y reducir muchos de los problemas a los que constantemente se enfrentan los profesionales del área. Los autores presentan en su trabajo, una revisión imparcial de los distintos métodos, técnicas o paradigmas de IA que pueden ser útiles en cada fase del desarrollo de software, basada en las afirmaciones hechas por expertos en el tema.

Materiales y métodos

El método para desarrollar esta

investigación en el marco de un mapeo sistemático de la literatura se basa en los aportes de Petersen et al [7], una propuesta aceptada para realizar estudios en el área de ingeniería del software. La investigación se alinea con cinco fases principales que definieron la ruta aplicada basada en los resultados de los elementos de la metodología: (a) definición de preguntas de investigación, (b) búsqueda e identificación de estudios primarios utilizando patrones de búsqueda en repositorios académicos digitales, (c) definición de criterios de inclusión y exclusión, (d) selección y clasificación de estudios primarios considerando los criterios anteriores, para eliminar aquellos que no son relevantes para el propósito de la investigación y finalmente (e) extracción de datos y mapeo de estudios.

Definición de las preguntas de investigación

La investigación identificó artículos relacionados con las técnicas de Inteligencia Artificial y su aporte a las fases y problemas surgidos durante el proceso de Ingeniería de requerimientos. Lo anterior, permitió definir el alcance del estudio para formular dos preguntas de investigación. La tabla 1, relaciona las preguntas de investigación y los criterios de motivación que condujeron a tales proposiciones.

Tabla 1. Preguntas de investigación,

Pregunta de Investigación	Motivación
Q1. ¿Qué fases de la ingeniería de requisitos son respaldadas por la inteligencia artificial?	Identificar investigaciones que aborden la inteligencia artificial en las fases de ingeniería de requisitos.
Q2. ¿Cuáles son las técnicas de inteligencia artificial utilizadas para mejorar los problemas en la captura de los requisitos?	Detectar las principales técnicas de inteligencia artificial para resolver los problemas de la elicitación de requerimientos.

Realizar búsquedas de fuentes primarias

Los estudios iniciales se identificaron mediante consultas en repositorios de estudios en el área de la computación y afines: ACM, ScienceDirect, Scopus, IEEE Xplore y Springer. Estas bibliotecas poseen un alto contenido académico e investigativo, con publicaciones en revistas, conferencias, libros, entre otros. Con el fin de desarrollar un esquema de clasificación, se definieron varios patrones de búsqueda considerando la contribución de la inteligencia artificial al desarrollo de software y así obtener un entendimiento de alto nivel del contexto de la investigación. Los patrones de búsqueda se especificaron utilizando criterios y a través de una concatenación mediante el uso de operadores booleanos AND y OR, que permitieron vincular los términos principales y/o alternativos, respectivamente. Los patrones que fueron utilizados para la búsqueda de fuentes primarias en cada uno de los repositorios mencionados anteriormente, estuvieron motivados por la relación entre la Inteligencia artificial y el desarrollo de software y así mismo con la Ingeniería de software y la ingeniería de requerimientos:

[All: artificial intelligence AND software development] OR [All: artificial intelligence AND software engineering]

[All: artificial intelligence AND software engineering] OR [All: artificial intelligence AND software requirements]

[ArtificialintelligenceANDRequirements Engineering] OR [Artificial intelligence AND software engineering]

Los patrones de búsqueda se aplicaron

en los repositorios seleccionados, tanto en el título, como en el resumen y en las palabras clave de los estudios primarios. El proceso de búsqueda se realizó entre los meses de mayo y junio del año 2021. Como resultado de la aplicación de los patrones, se obtuvo un total de 13.392 documentos, de los cuales fueron descartados 3.772, aplicando el filtro para investigaciones entre enero de 2010 y junio de 2021, para un saldo de 9620. Al aplicar los criterios de inclusión y exclusión que se definen en el siguiente ítem, el número de documentos se redujo a 47. De éstos, después de hacer una lectura completa del texto, el número se redujo a 25 documentos. Aplicando la técnica del muestreo no probabilístico de bola de nieve, se pudo sumar al saldo 4 documentos obtenidos por las referencias de autores consultados en la búsqueda (29). La evaluación de la calidad de los documentos hasta el momento identificados, redujo el número a 15. Finalmente, se hizo una revisión adicional de los artículos o documentos excluidos y se encontró que 6 de ellos, presentaban información valiosa para la investigación. Por lo tanto, el número de documentos resultante para el presente trabajo fue 21. Los estudios identificados como resultado de las búsquedas en fuentes primarias, se muestran en la figura 1.

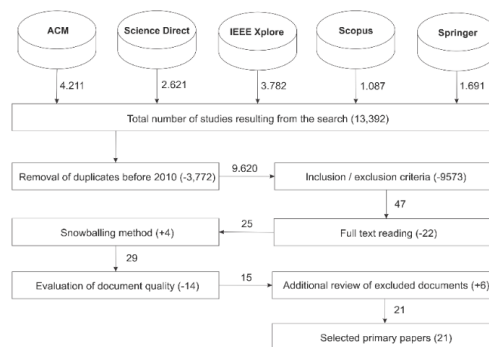


Figura 1. Estudios identificados por repositorio académico.

Selección de artículos a partir de criterios de inclusión y exclusión.

El foco de la investigación permitió la búsqueda de artículos candidatos con relación a la Ingeniería de requisitos e Inteligencia Artificial. Fueron incluidos trabajos en formato de artículos, conferencias y memorias de taller,

comprendidos entre los años 2010 y 2021. Sin embargo, fueron descartados aquellos estudios en los que la aplicación de la Inteligencia Artificial no guarda relación con la Ingeniería de requerimientos. La Tabla 2, muestra los criterios de inclusión y exclusión, que se tuvieron en cuenta para la selección de los artículos considerados en el análisis.

Tabla II. Criterios de inclusión y exclusión

Criterios de inclusión		Criterios de exclusión	
CI01	Resultados de investigación con propuestas centradas en la aplicación de la inteligencia artificial a la Ingeniería de requerimientos.	CE01	Resultados de investigación cuya aplicación de la inteligencia artificial esté fuera del alcance de la ingeniería de requerimientos.
CI02	Investigaciones realizadas en el período comprendido entre los años 2010 y 2020.	CE02	Investigaciones realizadas fuera del intervalo de tiempo especificado para realizar el estudio de mapeo sistemático.
CI03	Resultados de investigaciones publicadas en repositorios de estudios en el área de la computación y afines.	CE03	Investigaciones cuyos términos del patrón de búsqueda no se encuentren en el título, el resumen y las palabras clave.
CI04	Los términos del patrón de búsqueda deben aparecer en el título, en el resumen y en las palabras clave.		
CI05	Investigaciones realizadas y publicadas en formato de artículo, conferencia y memorias de taller.		

Esquema de clasificación

Para elaborar el esquema de clasificación, se utilizó el método de redacción de palabras clave (Keywording) para identificar el contexto de la investigación y desarrollar un conocimiento de alto nivel sobre la contribución de la misma. A partir de esto, se definieron tres categorías que permitirán estructurar el mapa de estudios que dará respuesta a las preguntas de investigación formuladas previamente. Una de las categorías, definió el tópico principal (Ingeniería de

requerimientos), en términos de sus fases (Elicitación, análisis, especificación, validación y gestión); la segunda, analizó el aporte de la IA al proceso de Ingeniería de requerimientos, en aspectos específicos como la evaluación de la completitud [24]; la comunicación efectiva entre los miembros del equipo de desarrollo y el Cliente [25][5]; la ambigüedad en la especificación de requisitos [24]; el estándar definido para la validación [26] y la trazabilidad de los requerimientos a lo largo del proyecto de software [27][28]. La tercera categoría,

consideró la contribución de la IA a partir de la aplicación de técnicas para el mismo proceso (Search-Based Software Engineering SBSE, Knowledge Based Systems KBS, Bayesian Networks, Classification, Natural Language Processing NLP, Recommender Systems, Fuzzy Logic, Ontologies)

Extracción de datos y mapeo de estudios

El análisis de los resultados de esta investigación, se centra en presentar las frecuencias de las publicaciones para cada una de las categorías definidas previamente, lo que permite determinar el número de trabajos, producto de investigaciones anteriores, y los posibles estudios que pueden realizarse en el futuro cercano, en relación con el objeto de estudio. Como se presenta en la figura 2, del total de estudios identificados para analizar el aporte de la Inteligencia Artificial en la Ingeniería de requerimientos, se evidencia que, en los años 2010, 2014 y 2020, se han publicado 3 trabajos (14%); en el año 2019, 4 trabajos (19%); en los años 2012, 2015 y 2021 se han hecho 2 publicaciones, correspondientes al 9,5%; y en los años 2016 y 2018, tan solo se ha publicado 1 estudio relacionado con el tema (4.7%). Lo anterior, permite identificar la baja producción científica en relación con el objeto de estudio en el intervalo de tiempo seleccionado para el mismo, hecho que abre las puertas a futuros trabajos en los que se realice de manera exhaustiva, investigaciones tendientes a generar nuevo conocimiento en el campo de la Inteligencia artificial y su contribución a las actividades de la fase de Ingeniería de requerimientos en proyectos de desarrollo de software.



Figura 2. Distribución de artículos seleccionados por año de publicación.

Así mismo, es importante resaltar el tipo de documentos seleccionados para la presente investigación, en los cuales, el 38% de la producción especializada en el objeto de estudio (8), se realizó en sesiones de conferencia [29][30][31][32][25][33][34][35]; el 14% (3), en presentaciones en talleres internacionales [17][5][36] y el 48% restante (10), se realizó en formato de artículos de revistas [37][27][24][26][28][38][39][40][41][42]

Resultados y discusión

En esta sección, se muestran los resultados obtenidos para dar respuesta a cada una de las preguntas de investigación en el contexto de las actividades de la Ingeniería de requerimientos respaldadas por la Inteligencia artificial.

Q1. ¿Qué fases de la ingeniería de requisitos son respaldadas por la inteligencia artificial?

Los artículos seleccionados permiten identificar cómo la inteligencia artificial en la actualidad es usada en contextos donde a partir de un espacio del problema se puede generar un espacio para la solución en el dominio de la ingeniería del software y en especial en la ingeniería de requisitos. En este estudio se identificaron propuestas con relación a la elicitación

de requerimientos. La ingeniería de requisitos es considerada como la fase más importante en los proyectos de software, ya que de ella se deriva el éxito o fracaso del proyecto. Una mala práctica de obtención de requisitos, representa problemas con respecto a la futura implementación de las funcionalidades del software a desarrollar, y por ende afecta el plan de entregas del proyecto. La revisión de la literatura indica que hoy existe una apuesta por parte de la industria y la academia en el uso de tecnologías inteligentes para apoyar a los stakeholders en la primera fase de la ingeniería del software [27][24][25][26][28][5]. La actividad de captura de requisitos, se apoya en las reuniones con el cliente y define una conceptualización compartida con los analistas de

requerimientos que luego comunican al equipo de desarrollo. Los conceptos que se comparten dan lugar a una actividad donde se aclara y se ve la evolución de los requisitos para traducirlos en software. Si los requisitos cambian, el concepto compartido se remodela y se aplica en el desarrollo del producto [43].

En la tabla 3, se muestran las fases de la ingeniería de requerimientos con su respectiva descripción referida desde la literatura y el aporte de la inteligencia artificial a cada fase. En esta tabla se puede visualizar cómo los artículos identificados reconocen en las técnicas inteligentes una posibilidad para definir procesos automáticos que sirvan de apoyo para mejorar las actividades de ingeniería de requerimientos.

Tabla III. Artículos por fase de la IR y aportes de IA

Fase	Descripción	Aportes de la IA a la IR
Elicitación	Define la captura de requisitos. Se identifican las fuentes de información del sistema a desarrollar [12][44].	En términos generales, la IA puede ayudar en los siguientes conceptos: Integridad, requisitos completos para evitar confusión y retrasos. Coherencia, requisitos más consistentes. Precisión, requisitos articulados con los objetivos de las partes interesadas [24].
Análisis	Clasificar, derivar y negociar para resolver conflictos entre requisitos y así definir los límites del software. Permite que los analistas y partes interesadas comprendan los requisitos para generar una lista coherente de requerimientos [12][44][43].	Uso de técnicas inteligentes para lograr una buena conceptualización del cómo y qué en el proceso de comunicación para ayudar a la comprensión de los requerimientos del sistema a desarrollar y la resolución de conflictos [25][5].
Especificación/ Documentación	Se escriben los requisitos en un documento denominado especificación de requerimientos de software con el fin de cerrar brechas del análisis de requisitos [12][44].	Los equipos de ingeniería pueden marcar más fácilmente los requisitos ambiguos, incompletos y mal redactados, mediante el uso de algoritmos inteligentes de IA para encontrar requisitos duplicados y contradictorios [24].
Validación	Evaluar y verificar los requisitos para confirmar que el documento de requisitos está completo. Producto de la validación puede ser necesario reescribir los requisitos o reevaluarlos desde la fase de análisis [12][44].	Lograr especificaciones formales que ofrezcan soluciones para representar, organizar y razonar sobre conjuntos de requisitos [26].
Gestión	Permite controlar los cambios en los requisitos, entendiendo que un porcentaje de los mismos cambiará a lo largo de la ejecución del proyecto. Define la trazabilidad y seguimiento de cada requisito. Apoya la planeación y priorización de los requerimientos. [12][44][45].	La inteligencia artificial es útil para apoyar la gestión de proyectos de software mediante algoritmos de optimización con el cual se pueden planear y programar tareas para el equipo de desarrollo [27][28].

Q2. ¿Cuáles son las técnicas de inteligencia artificial utilizadas para mejorar los problemas en la ingeniería de requisitos? El resultado de la revisión de la literatura permitió hallar varias

técnicas de Inteligencia Artificial que son utilizadas para automatizar actividades relacionadas con las fases de la ingeniería de requerimientos. Fueron identificadas ocho técnicas en los artículos

seleccionados. En la tabla 4, se puede observar para cada fase de la ingeniería de requisitos, los problemas y las técnicas inteligentes que se encuentran definidas en los estudios seleccionados para mitigar los inconvenientes que surgen en las actividades relacionadas con los requisitos de software. En la tabla 4, se puede determinar que la ingeniería

de software basada en búsquedas, las técnicas ontológicas y el uso de procesamiento del lenguaje natural para las fases de elicitación, análisis y especificación respectivamente, tienen un importante interés en la literatura para resolver problemas relacionados con requisitos incompletos y ambiguos.

Tabla IV. Problemas de las etapas de IR y técnicas de IA

Fase	Problemas	Aportes de la IA a la IR
Elicitación	Requisitos faltantes, innecesarios o con poca relevancia. Ausencia de requisitos de negocio y de usuario [13]. Falta del conocimiento del dominio y clientes no declarados [31]. Límites no definidos [32].	Ingeniería de software basada en búsquedas - SBSE. Técnicas de optimización (evitar requisitos vagos e imprecisos) y búsqueda computacional [17][31][32]. Los sistemas de recomendación apoyan a los stakeholders en la toma de decisiones durante la elicitación de requisitos (uso de requisitos reutilizables) y en la detección de dependencia de requerimientos [25].
Análisis	No se realiza la etapa de análisis de forma completa en el contexto del software a desarrollar [13][46]. Flujos de trabajo sin importancia. Requisitos no integrados al resultado final [31]	Los Sistemas basados en el conocimiento (KBS) se han utilizado para gestionar familias de requisitos mediante un esquema para la planificación, el descubrimiento, análisis y documentación de los requisitos [29]. Uso de técnicas Ontológicas para apoyar eficazmente la obtención automática de requisitos, detectar lo incompleto, lo ambiguo y predecir posibles cambios en los requisitos. [37][26][38][33][42][47].
Especificación/ Documentación	Requisitos interpretados incorrectamente (ambiguos, vagos, incompletos) [13]. Requisitos sin soporte o trazabilidad de un extremo a otro y requisitos que representen utilidad [31].	En el contexto de requisitos de calidad, el uso de procesamiento del lenguaje natural (PLN) para la detección de ambigüedades en los requisitos, permite traducir requisitos de lenguaje natural a un lenguaje de especificaciones formales [24][29][32][40][35][48][49]. La clasificación permite la detección y categorización de requisitos y el análisis de revisiones para distinguir entre errores y características [30][36].
Validación	La declaración de los requisitos no se alinea con las funcionalidades que se esperan del software a desarrollar. No se le da la debida importancia a esta fase o se realiza de forma incompleta [46].	Uso de la Inteligencia Computacional utilizando lógica difusa y teoría de probabilidades para evaluar la prioridad relativa de los requisitos bajo incertidumbre y compensar los requisitos en conflicto [29][39]. Uso de Redes Bayesianas para la validación de requisitos usando el documento de especificación de requisitos e incluyendo modelos probabilísticos para gestionar ambigüedades [38][41].
Gestión	Gestión de cambios mal planificada que afecta el seguimiento a los requisitos para garantizar su implementación y posterior mantenimiento de la funcionalidad que representa [12].	Los Sistemas Basados en el Conocimiento para gestionar los requisitos [29]. Usar Ontologías para mejorar la semántica al proporcionar relaciones más ricas entre los términos y gestión de la evolución de los requisitos [26]. El uso de Redes Bayesianas para la planificación de los lanzamientos del producto en desarrollo ágil y medir el estado del proyecto [34][50].

La figura 3, representa un diagrama de burbujas que permite visualizar las ocho técnicas inteligentes más utilizadas con relación a las fases de la ingeniería de requisitos. El tamaño de una burbuja es proporcional al número de artículos

se encuentran en el par de categorías representadas en el diagrama. Las técnicas más utilizadas son: SBSE, KBS, Bayesian Networks, Classification, NLP, Recommender Systems, Fuzzy Logic and Ontologies. La técnica SBSE,

se usa con mayor frecuencia para evitar requisitos vagos e imprecisos. La técnica Sistemas de Recomendación, se usa para identificar dependencia entre requisitos. Las dos técnicas anteriores se utilizan en la fase de Elicitación. La técnica KBS, es aplicada para gestionar grupos de requisitos para analizar y documentar los mismos. Las técnicas Ontológicas, se usan con buena frecuencia para obtener y gestionar requisitos. Las dos técnicas anteriores son utilizadas en las fases de Análisis y Gestión. La técnica NLP, es ampliamente utilizada para encontrar ambigüedades y expresar los requisitos de manera formal. La técnica de Clasificación, es aplicada para detectar y categorizar requisitos. Las dos técnicas anteriores se utilizan en la fase de Especificación/Documentación. La técnica de Inteligencia Computacional utilizando Lógica Difusa, se aplica para evaluar prioridades y mitigar conflictos en los requisitos. La técnica Redes Bayesianas, se usa para validar requisitos. Las técnicas de Inteligencia Computacional y Redes Bayesianas se utilizan en la fase de Validación. Además, las Redes Bayesianas se usan en la fase de Gestión. El uso de ontologías en la fase de análisis y gestión de requisitos, permite formalizar modelos sobre el dominio del problema reflejado en una estructura de requisitos que permite adquirir un conocimiento de ese dominio para descubrir y corregir errores de ambigüedad, omisión e inconsistencia en un conjunto de requisitos dispuestos en la especificación obtenida previamente mediante la comunicación con las partes interesadas [26][38][42]

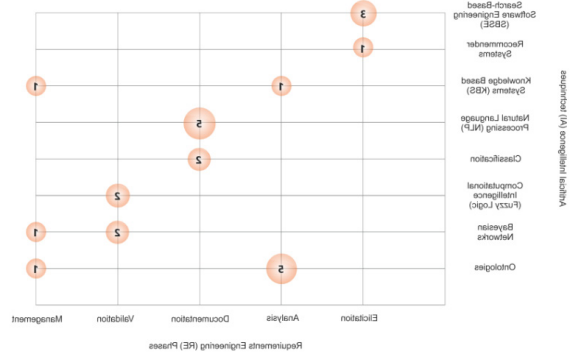


Figura 3. Relación entre las técnicas de IA y las fases de la IR.

Es importante dentro de esta discusión, tener presente que los requerimientos del software son expresados por las partes interesadas en lenguaje natural y representan principalmente descripciones funcionales del producto a desarrollar. En muchos casos, las descripciones tienen características que las definen como expresiones vagas, imprecisas o contradictorias y en definitiva no corresponden con las necesidades reales, debido principalmente a la falta de una efectiva comunicación entre el ingeniero de requisitos y las partes interesadas. Existen otros problemas, como el reconocimiento tardío de requisitos y no entender que estos pueden cambiar. La industria y la academia orientan constantemente investigaciones para mitigar problemas de la ingeniería de requisitos utilizando las técnicas de Inteligencia Artificial [26][38].

La Inteligencia Artificial ayuda a construir modelos, para una adecuada gestión de requisitos que garantice la trazabilidad de los mismos y permita una orientación que de facilidad a la recuperación de información para vincularlos y así gestionar los cambios con una granularidad de seguimiento acorde a las circunstancias [14]. Cabe resaltar que, existen condiciones

específicas a nivel de conceptos de ingeniería del software, donde se hace necesaria la participación de expertos de un equipo de desarrollo y la colaboración entre ellos para garantizar el éxito de los proyectos de software [22][2].

Para reducir el riesgo de fracaso de un proyecto de software, es importante garantizar la calidad de los requisitos. Los resultados de la investigación indican, que existe la necesidad de aplicar tecnologías inteligentes que favorezcan la ingeniería de requerimientos [25].

Conclusiones

En el presente estudio se empleó el mapeo sistemático como una técnica útil para obtener una visión de conjunto de la contribución de la Inteligencia Artificial al proceso de Ingeniería de requerimientos, en un formato de fácil comprensión, sobre una amplia producción científica alrededor del tema. Esta técnica permitió definir las rutas para iniciar una exploración propia de la literatura, de acuerdo con la motivación particular de la investigación y presentar de forma ordenada, una síntesis de la producción global en relación con el tema objeto de estudio.

La revisión de la literatura a través del mapeo, ha evidenciado la aplicación y uso de técnicas de IA en el proceso de desarrollo de software. Algunas técnicas proporcionan apoyo para entender los requisitos dispuestos inicialmente en lenguaje natural, para hacer un proceso de transformación en representaciones más concretas. En este mismo sentido, el uso de ontologías permite una mejor comprensión del dominio del problema y así evitar ambigüedades y requisitos incompletos en el contexto del dominio

de la solución.

La relación entre la Inteligencia Artificial y la Ingeniería del Software se da de forma complementaria para permitir su aplicación en la automatización de actividades de desarrollo. Esta tendencia con respecto al uso de técnicas de inteligencia artificial, sugiere caminos para mejorar los tiempos de entrega y la calidad de los productos software.

Algunos autores indican que aumentar el nivel de automatización durante el proceso de ingeniería de requisitos cambia la naturaleza de la práctica. Esta consideración representa futuras investigaciones para profundizar en cómo el ser humano puede utilizar o complementar con métodos automatizados la captura de requisitos en el proceso de desarrollo de software.

Referencias

- [1] R. Feldt, F. de Oliveira Neto, & R. Torka, "Ways of applying artificial intelligence in software engineering". In *2018 IEEE/ACM 6th International Workshop on Realizing Artificial Intelligence Synergies in Software Engineering (RAISE)* IEEE, 2018.
- [2] D. Marijan, W. Shang & R. Shukla, "Implications of resurgence in artificial intelligence for research collaborations in software engineering", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes* 44(3) 2019.
- [3] T. Tamai and T. Anzai, "Quality Requirements analysis with machine learning", *Proceedings of the 13th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to*

- Software Engineering* (ENASE 2018) Funchal Madeira Portugal, 2019.
- [4] P. Bourque R. Fairley, "Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK(R))" (Los Alamitos: IEEE Computer Society), 2014.
- [5] B. Kostova, S. Gurses, & A. Wegmann, "On the interplay between requirements, engineering and artificial intelligence", In *REFSQ Workshops*, 2020.
- [6] P. Laplante, "Requirements engineering for software and systems", *Auerbach Publications*, 2017.
- [7] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, M. Mattsson, and Petersen, "Systematic mapping studies in software engineering", *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering* (EASE'08) vol. 8, 2008.
- [8] A. Pannu, M. Student, "Artificial intelligence and its applications in various fields", *International Journal of Engineering and Innovative Technology* (IJEIT) 4(10) pp 79-84, 2015.
- [9] R. Brooks, "Intelligence without reason", *Proceedings of the 12th International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Morgan Kauffman, 1991.
- [10] C. Gershenson, "¿Cómo medir la inteligencia de las máquinas?" *Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias* 64(4), 2013.
- [11] H. Hofmann and F. Lehner, "La ingeniería de requisitos como factor de éxito en proyectos de software", *Software IEEE* 18 (4) 2001, doi: 10.1109 / ms.2001.936219.
- [12] P. Bourque & R. Fairley, "*Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK (R))*": Version 3.0. IEEE Computer Society Press, 2014.
- [13] K. Lace and M. Kirikova "Foundation for Software Quality (REFSQ 2018)", *24th International Conference on Requirements Engineering*: (Utrecht) Vol 2075 (Netherlands: CEUR Workshop Proceedings) CRE18_paper2, 2018.
- [14] S. Lim, "Data-driven Framework to Facilitate Automated Requirements Engineering". In *CAiSE* (Doctoral Consortium) pp 60-68, 2019.
- [15] L. Westfall, "Las fallas en la ingeniería de requisitos", *Revista Ingenierías USBMed* 2(2) 40-47, 2011.
- [16] B. Cuesta, "Model-based approach for agile requirements engineering using SysML and Papyrus", In *5th International Meeting of Technological Innovation, Journal of Physics, Series 1257(2019)* 1-8, 2019.
- [17] M. Harman, "The role of artificial intelligence in software engineering". In Proc. *International Workshop on Realizing AI Synergies in Software Engineering* (RAISE) 1-6, 2012.
- [18] X. Tao "Intelligent software engineering: Synergy between ai and software engineering". In *International Symposium on*

- Dependable Software Engineering: Theories, Tools, and Applications* pp 3-7 Springer Cham, 2018.
- [19] R. Feldt, F. de Oliveira and R. Torkar, “Ways of applying artificial intelligence in software engineering”. In *Proceedings of the 6th International Workshop on realizing artificial intelligence synergies in Software Engineering* (RAISE ‘18). Association for Computing Machinery New York NY USA pp 35-41, 2018.
- [20] W. Haider, Y. Hafeez, S. Ali, M. Jawad, F. Ahmad and M. Rafi, “Improving requirement prioritization and traceability using artificial intelligence technique for global software development” *Proc. - 22nd Int. Multitopic Conf. INMIC*, 2019.
- [21] D. Wangoo, “Artificial intelligence techniques in software engineering for automated software reuse and design”, *4th Int. Conf. Comput. Commun. Autom. ICCCA* pp. 1–4, 2018.
- [22] H. Dam, “Artificial intelligence for software engineering XRDS Crossroads” *ACM Mag. Students* vol 25 no. 3 pp 34–37, 2018.
- [23] F. Batarseh, R. Mohod, A. Kumar and J. Bui, “The application of artificial intelligence in software engineering”, *Elsevier Inc*, 2020.
- [24] B. Rey-Mermet, “Advancing requirements engineering by applying artificial intelligence”, *EVOCEAN*, 2019, https://evocean.com/wp-content/uploads/2019/10/WP_Requirements_Engineering_AI_e.pdf
- [25] R. Samer, M. Stettinger, A. Felfernig, X. Franch & A. Falkner, “Intelligent recommendation & decision technologies for community-driven requirements engineering”. In *ECAI 2020-24th European Conference on Artificial Intelligence*, 2020.
- [26] F. Meziane & S. Vadera, “Artificial intelligence applications for improved software engineering development”, *New Prospects: New Prospects* IGI Global, 2010.
- [27] M. Barenkamp, J. Rebstadt & O. Thomas, “Applications of AI in classical software engineering”. *AI Perspectives* 2(1) 1-15, 2020.
- [28] B. Sorte, P. Joshi & V. Jagtap, “Use of artificial intelligence in software development life cycle: A state of the art review”. *International Journal of Advanced Engineering and Global Technology* 398-403, 2015.
- [29] H. Ammar, W. Abdelmoez & M. Hamdi, “Software engineering using artificial intelligence techniques: current state and open problems”, In: *Proceedings of the First Taibah University International Conference on Computing and Information Technology* (ICCIT 2012) Al-Madinah Al-Munawwarah Saudi Arabia p 52, 2012.
- [30] F. Dalpiaz, D. Dell’Anna, F. Aydemir & S. Çevikol, “Requirements classification with interpretable machine learning and dependency parsing”. In *2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference (RE)* pp 142-152 IEEE, 2019.

- [31] H. Belani, M. Vukovic & Z. Car, “Requirements engineering challenges in building ai-based complex systems”. In *2019 IEEE 27th International Requirements Engineering Conference Workshops (REW)* pp 252-255 IEEE, 2019.
- [32] S. Amershi, A. Begel, C. Bird, et al, “Software engineering for machine learning: a case study”. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering (ICSE) – SE in Practice* track IEEE Computer Society, 2019.
- [33] M. Murtazina & T. Avdeenko, “Ontology-based approach to the requirements engineering in agile environment”. In *XIV International scientific-technical conference on actual problems of electronics instrument engineering (APEIE)* pp 496-501 IEEE, 2018.
- [34] A. Nagy, M. Njima & L. Mkrtchyan, “A Bayesian Based Method for Agile Software Development Release Planning and Project Health Monitoring”, In *International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems* <https://doi.org/10.1109/INCOS.2010.99>, 2010.
- [35] A. Mahmoud and D. Carver, “Exploiting online human knowledge in requirements engineering”. In *IEEE 23rd International Requirements Engineering Conference (RE)* pp 262-267 IEEE, 2015.
- [36] J. Hayes, W. Li and M. Rahimi, “Weka meets TraceLab: Toward convenient classification: Machine learning for requirements engineering problems: A position paper”. In *IEEE 1st International Workshop on Artificial Intelligence for Requirements Engineering (AIRE)* pp 9-12 IEEE, 2014.
- [37] M. Landhäuser, S. Körner and W. Tichy, “From requirements to UML models and back: how automatic processing of text can support requirements engineering” *Software Quality Journal* 22(1) 121-49, 2014.
- [38] S. Sharma & S. Pandey, “Integrating AI techniques in requirements phase: a literature review”, 2014.
- [39] A. Egesoy and A. Güzel, “Fuzzy logic support for requirements engineering” *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology (IJIRCST)* ISSN. 2347-5552, 2021.
- [40] M. Naumcheva, “Deep learning models in software requirements engineering” arXiv preprint arXiv:2105.07771, 2021.
- [41] I. Del Águila, J. Del Sagrado, Bayesian networks for enhancement of requirements engineering: a literature review”, *Requirements engineering* 21(4) 461-80, 2016.
- [42] V. Castañeda, L. Ballejos, M. Caliusco and M. Galli, “The use of ontologies in requirements engineering” *Global journal of research in engineering* 10(6), 2010.
- [43] N. Abdullah, S. Honiden, H. Sharp, B. Nuseibeh and D. Notkin, “Communication patterns of agile requirements engineering”. In *Proceedings of the 1st workshop on*

agile requirements engineering pp 1-4, 2011.

- [44] I. Sommerville, “Integrated requirements engineering: A tutorial”, *IEEE software* 22(1) 16-23, 2005.
- [45] Project Management Institute (PMI), “A Guide to the Project Management Body of Knowledge” 4th ed. Newtown Square Pennsylvania USA: *Project Management Institute, Inc*, 2008.
- [46] A. Lamsweerde, “Requirements engineering – From system goals to UML models to software specifications”, (New York: John Wiley & Sons, Inc.), 2009.
- [47] I. Barrientos & L. Carballo, “El uso de ontologías como apoyo a la Ingeniería de Requisitos”. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 15(1), 20-36, 2021.
- [48] P. Pytel, C. Uhalde, H. Ramón, H. Castello, M. Tomasello, M. Pollo & R. García. “Ingeniería de requisitos basada en técnicas de ingeniería del conocimiento”. *In XIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2011.
- [49] R. Bustos, “Procesamiento de Lenguaje Natural en Ingeniería de Requisitos: Contribuciones Potenciales y Desafíos de Investigación”. *In CibSE* (p. 835), 2015.
- [50] A. Vera, G. Hadad, & J. Doorn, “Trazabilidad de versiones en Ingeniería de Requisitos”. *In XV Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 2013.