

**INGENIERÍA DE REQUERIMIENTOS E INTELIGENCIA ARTIFICIAL: UNA
REVISIÓN DE LA LITERATURA****SOFTWARE REQUERIMIENTS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: A
SYSTEMATIC REVIEW**

**MSc. Daniel Arenas Sealey*, Cristian Eduardo Prieto Triana*,
Diana Carolina Chacón López**

* **Universidad Autónoma de Bucaramanga**, Facultad de ingeniería, Grupo de
investigación GTI Tecnologías de información.

Avenida 48 #48-11, Bucaramanga, Santander, Colombia.

PBX (57) (7) 643 6111.

E-mail: darenass@unab.edu.co, cprieto380@unab.edu.co, dchacon871@unab.edu.co

Resumen: El presente estudio esboza una revisión sistemática de documentos que permitieron identificar cómo se han integrado diferentes algoritmos de inteligencia artificial en herramientas y procesos para el desarrollo y administración de ingeniería de requerimientos. Los resultados apuntan a que las principales tendencias en la ingeniería de requerimientos incluyen temas desde la clasificación y priorización de los requerimientos, la obtención de los requisitos de seguridad, la validación de las revisiones de los requisitos y la minería de procesos, y en cada aspecto es posible incorporar la aplicación de técnicas de inteligencia artificial. Dentro de los usos más destacados de IA se encuentra la detección de la ambigüedad de los requisitos, la identificación de la incertidumbre en los requisitos contextuales y la clasificación de los requisitos para comprobar la redundancia y la incoherencia.

Palabras clave: Ingeniería de requerimientos, Inteligencia artificial, Ingeniería de software.

Abstract: This study shows a systematic review of literature to identify how different artificial intelligence algorithms have been integrated into tools and processes for the development and management of requirements engineering. It was observed with the results obtained that the main trends in requirements engineering include topics from requirements classification and prioritization, obtaining safety requirements, validation of requirements reviews and process mining, and in each aspect it is possible to incorporate the application of artificial intelligence techniques. Among the most outstanding uses of AI are the detection of requirements ambiguity, the identification of uncertainty in the contextual requirements and the classification of requirements to check redundancy and inconsistency.

Keywords: Requirements Engineering, Artificial Intelligence, Software Engineering.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de desarrollo de software tiene un subcampo de estudio referente a la ingeniería de requerimientos para abordar en profundidad todo el tema de la comprensión de las necesidades de los clientes y la correspondiente planeación de los proyectos de software. Entender los requerimientos de un problema “es una de las tareas más difíciles que enfrenta el ingeniero de software” (Pressman, 2010), y dicha tarea en los últimos años está siendo optimizada por diferentes algoritmos de inteligencia artificial (en adelante IA). El objetivo del presente estudio consistió en explorar los diferentes enfoques de IA que se emplean en herramientas especializadas para gestionar la información sobre requerimientos de software. Lo anterior se realizó a través de una revisión documental en la base de datos IEEE.

Indagando en la base de datos Scopus que ofrece una métrica temporal sobre la cantidad de publicaciones empleando como palabras claves de búsqueda: "Requirement Engineering" AND "Artificial Intelligence", se obtuvieron 390 documentos. Tal como se muestra en la figura 1, el tema en los últimos años se ha ido incrementado significativamente.



Fig. 1. Tendencias de publicaciones del tema de investigación por año

2. RESULTADOS

Para este análisis se usó la base de datos IEEE Xplore especializada en artículos y trabajos sobre Ciencias de la Computación, Ingeniería Eléctrica y Electrónica, identificando documentos del año 2019 y empleando como criterios de búsqueda: "Requirement Engineering" and "Artificial Intelligence" obteniendo como resultado 48 documentos. Después de revisar los resúmenes, se seleccionaron 34 de acuerdo con su pertinencia para los fines del proyecto.

De acuerdo con el tipo de investigación, la mayoría son de tipo empírico con un 76% de representatividad como se muestra en la Figura 2, es decir, la mayoría de los documentos buscan identificar, explorar, confirmar y promover los conceptos teóricos a través de la experimentación. A su vez, de estas investigaciones empíricas el 84% corresponde a análisis de algoritmos, principalmente de inteligencia artificial y comparaciones respecto al uso de diferentes técnicas de IA. Otras técnicas usadas fueron los casos de estudio y las entrevistas como se muestra en la Figura 3.



Figura 2. Tipo de investigación



Figura 3. Tipos de investigación empírica

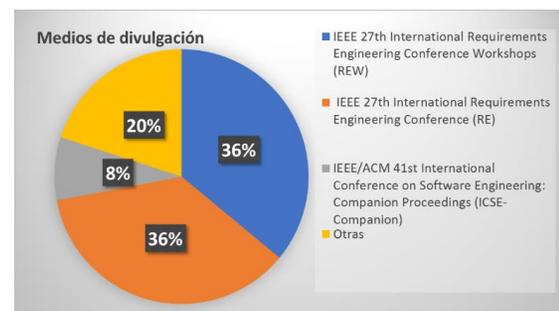


Figura 4. Medios de divulgación

En la Figura 4 se pueden observar los medios usados para su divulgación, siendo la mayoría publicaciones derivadas de eventos internacionales, conferencias y workshops.

Ahora bien, si se hace un análisis de acuerdo con el lugar de afiliación de quienes han tratado el tema de búsqueda, según la Figura 5, el 53% son europeos, seguido de los asiáticos con un 26%. No se encontraron documentos de América Latina ni Oceanía.

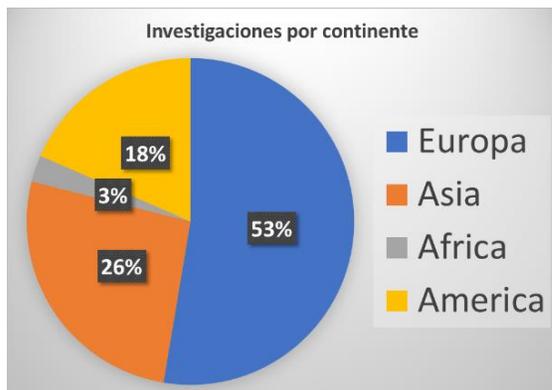


Figura 5. Documentos según el lugar de afiliación del escritor

Los principales tópicos de abordaje de los documentos respecto a la ingeniería de requerimientos consistieron en la detección de patrones inconsistentes por requerimientos contradictorios e incompatibles (N. Garanina & O. Borovikova, 2019), la identificación de requerimientos no atómicos (F. Halim & D. Siahaan, 2019), la verificación de vínculos entre cada especificación de requerimientos para generar matrices de trazabilidad (García, A. P., et al, 2016), (M. Mezghani, J. Kang, E. Kang, & F. Sedes, 2019), la clasificación de elementos de contenido de las especificaciones en requisitos y no requisitos (J. P. Winkler, J. Grönberg, & A. Vogelsang, 2019a; S. Abualhajja, C. Arora, M. Sabetzadeh, L. C. Briand, & E. Vaz, 2019), así como la clasificación entre requisitos funcionales y no funcionales (F. Dalpiaz, D. Dell'Anna, F. B. Aydemir, & S. Çevikol, 2019) y su gestión de cambios (A. A. Alsanad, A. Chikh, & A. Mirza, 2019a; A. A. Alsanad, A. Chikh, & A. Mirza, 2019b). También se analiza cómo seleccionan los profesionales e investigadores el enfoque, modelos, técnicas e instrumentos más apropiados para apoyar los procesos de ingeniería de requerimientos (A. Mavin, S. Mavin, B. Penzenstadler, & C. C. Venters, 2019), (Suarez, O et al, 2019).

Otro conjunto de estudios se centra en profundizar sobre los requerimientos no funcionales -NFRS, en cuanto a la clasificación (C. Baker, L. Deng, S. Chakraborty, & J. Dehlinger, 2019), priorización (J. Fischbach, M. Junker, A. Vogelsang, & D. Freudenstein, 2019), mecanismos de validación (J. Fischbach et al., 2019) y el uso de IA para resolver problemas recurrentes como la ambigüedad o la vaguedad en la especificación de los requerimientos (J. Fischbach et al., 2019), o en revisar la transparencia en este tipo de requisitos (J. Horkoff, 2019; L. Chazette, 2019). Un estudio interesante para resaltar, es el llevado a cabo por Baker y su equipo, de la Universidad de Towson en Estados Unidos, en el que investigaron el diseño y la aplicación de dos tipos de modelos de redes neuronales: una red neuronal artificial (RNA) y una red neuronal convolutiva (CNN), para clasificar mil requisitos no funcionales según su capacidad de mantenimiento, operabilidad, rendimiento, seguridad y capacidad de uso; su modelo de CNN puede clasificar eficazmente los NFRs logrando una precisión que oscila entre el 82% y el 94% (C. Baker et al., 2019).

Por otra parte, las últimas recomendaciones investigativas mencionan las particularidades metodológicas que se deben tener en cuenta cuando se diseñan y construyen sistemas basados en IA (H. Belani, M. Vukovic, & Ž. Car, 2019; J. Horkoff, 2019), (A. Vogelsang & M. Borg, 2019) puesto que no solo se trata de utilizar los algoritmos definidos de IA, sino que usualmente se convierte en un sistema con una variedad de subsistemas -algunos centrados en datos y otros dirigidos por modelos- por lo tanto, al combinarse esos subsistemas según diversos autores, habría que cambiar de paradigma. Otros problemas de abordaje se centran en la consecución de metadatos necesarios para apoyar el aprendizaje profundo, el aprendizaje automático u otras técnicas de IA (J. H. Hayes, J. Payne, & M. Leppelmeier, 2019).

Otra prioridad investigativa se da respecto a los requerimientos de seguridad en el software con su respectiva incorporación de elementos de IA que ayudan a crear diseños más robustos y productos con mayor calidad. Se trata entonces de métodos, modelos y enfoques diseñados para garantizar una correcta construcción de los requisitos de seguridad (K. Madala, 2019; M. Chechik, 2019; M. Kim, S. Dey, & S. Lee, 2019; S. Yahya et al., 2019).

La minería de datos aplicada en tiendas de aplicaciones, foros y redes sociales como Twitter, también es una tendencia para la obtención de

requisitos automatizados, examinando calificaciones (T. Iqbal, N. Seyff, & D. Mendez, 2019) y opiniones que pueden contener informes de errores y solicitudes de diversa índole (A. M. Ebrahimi & A. A. Barforoush, 2019).

Respecto a la aplicación de IA en el proceso de ingeniería de requerimientos se encontraron diversidad de técnicas: Machine Learning -ML- o aprendizaje automático (A. M. Ebrahimi & A. A. Barforoush, 2019; C. Baker et al., 2019), (F. Dalpiaz et al., 2019; J. P. Winkler, J. Grönberg, & A. Vogelsang, 2019b; M. Rahimi, J. L. C. Guo, S. Kokaly, & M. Chechik, 2019), (J. Fischbach et al., 2019; N. Al Kilani, R. Tailakh, & A. Hanani, 2019) Deep Learning (P. R. Anish, A. Sainani, A. Ahmed, & S. Ghaisas, 2019), sistemas expertos (H. Belani et al., 2019), Data Mining o minería de datos (T. Iqbal et al., 2019), Redes Bayesianas (F. Halim & D. Siahaan, 2019; K. Sangounpao & P. Muenchaisri, 2019), (R. Samer et al., 2019) Redes neuronales artificiales, Procesamiento del lenguaje natural (A. M. Ebrahimi & A. A. Barforoush, 2019), (J. P. Winkler et al., 2019b), (F. Pudlitz, F. Brokhausen, & A. Vogelsang, 2019; G. Deshpande, 2019) Lingüística computacional, semántico, Fuzzy logic o lógica difusa, ontología (A. A. Alsanad et al., 2019a; A. A. Alsanad et al., 2019b) e isontología - las más concurrentes se presentan en la Figura 8. Una investigación documental exhaustiva sobre el uso de sistemas expertos en ingeniería de requerimientos y las técnicas que éstos utilizan es el realizado por Bushra Haq y compañía (B. Haq et al., 2019), en cuyo trabajo se caracterizaron herramientas de IA, fases de abordaje y contribuciones en la aplicación de los sistemas expertos. Estos investigadores concluyen que, a pesar de la diversidad de sistemas expertos para facilitar la ingeniería de requerimientos, éstos lo hacen de forma parcial y muy pocos abordan las fases de negociación y gestión.

Una novedad investigativa es sobre la autoelicitación de requisitos, con el desarrollo de Bots o agentes de conversación automatizados (C. S. Rajender Kumar Surana, Shriya, D. B. Gupta, & S. P. Shankar, 2019). Un ejemplo de esto es el desarrollo de LadderBot, el cual imita la capacidad de un entrevistador humano al conversar en el lenguaje natural del usuario, formulando preguntas y proporcionar asistencia en el proceso de levantamiento de requerimientos (T. Rietz, 2019).

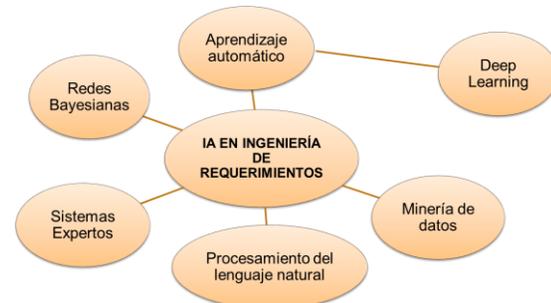


Figura 6. Principales técnicas de IA aplicadas a ingeniería de requerimientos

4. CONCLUSIONES

En síntesis, en esta revisión de literatura las tendencias en la ingeniería de requerimientos incluyen temas desde la clasificación y priorización de los requerimientos, la obtención de los requisitos de seguridad, la validación de las revisiones de los requisitos y la minería de procesos, y en cada aspecto es posible incorporar la aplicación de técnicas de inteligencia artificial. Dentro de los usos más destacados de IA se encuentra la detección de la ambigüedad de los requisitos, la identificación de la incertidumbre en los requisitos contextuales y la clasificación de los requisitos para comprobar la redundancia y la incoherencia.

REFERENCIAS

- A. A. Alsanad, A. Chikh, & A. Mirza. (2019a). A domain ontology for software requirements change management in global software development environment doi:10.1109/ACCESS.2019.2909839
- A. A. Alsanad, A. Chikh, & A. Mirza. (2019b). Multilevel ontology framework for improving requirements change management in global software development doi:10.1109/ACCESS.2019.2916782
- A. M. Ebrahimi, & A. A. Barforoush. (2019). Preprocessing role in analyzing tweets towards requirement engineering doi:10.1109/IranianCEE.2019.8786652
- A. Mavin, S. Mavin, B. Penzenstadler, & C. C. Venters. (2019). Towards an ontology of requirements engineering approaches doi:10.1109/RE.2019.00080

- A. Vogelsang, & M. Borg. (2019). Requirements engineering for machine learning: Perspectives from data scientists
doi:10.1109/REW.2019.00050
- Abbasi, M. A., Jabeen, J., Hafeez, Y., Batool, D., & Fareen, N. (2015). Assessment of requirement elicitation tools and techniques by various parameters. *Software Engineering*, 3(2), 7-11.
- B. Haq, M. Nadeem, I. Ali, K. Ali, M. Raza, & M. U. Rehman. (2019). Use of expert system in requirements engineering process A systematic literature review
doi:10.1109/UCET.2019.8881880
- Burkov, A. (2019). The hundred-page machine learning book. Quebec.
- C. Baker, L. Deng, S. Chakraborty, & J. Dehlinger. (2019). Automatic multi-class non-functional software requirements classification using neural networks
doi:10.1109/COMPSAC.2019.10275
- C. S. Rajender Kumar Surana, Shriya, D. B. Gupta, & S. P. Shankar. (2019). Intelligent chatbot for requirements elicitation and classification
doi:10.1109/RTEICT46194.2019.9016907
- Cantone, D. (2006). La biblia del programador: Implementacion y debugging. Buenos Aires: Gradi.
- Carrizo, D., & Ortiz, C. (2016). Modelos del proceso de educacion de requisitos: un mapeo sistematico. *Ingenieria y Desarrollo*, 34(1), 184. doi:10.14482/inde.33.2.6368
- Chacon, S., & Straub, B. (2014). Pro git Springer Nature.
- Cook, S. (2000). Speech recognition HOWTO. Retrieved from <http://www.tldp.org/HOWTO/Speech-Recognition-HOWTO/introduction.html#BASICS>
- Degiovanni, R. G. (2015). Técnicas automáticas para la elaboración, validación y verificación de requisitos de software Retrieved from https://www.openaire.eu/search/publication?articleId=od_____3056::8e9958344431ae2f1384388a44b120b2
- F. Dalpiaz, D. Dell'Anna, F. B. Aydemir, & S. Çevikol. (2019). Requirements classification with interpretable machine learning and dependency parsing
doi:10.1109/RE.2019.00025
- F. Halim, & D. Siahaan. (2019). Detecting non-atomic requirements in software requirements specifications using classification methods
doi:10.1109/ICORIS.2019.8874888
- F. Pudlitz, F. Brokhausen, & A. Vogelsang. (2019). Extraction of system states from natural language requirements.
doi:10.1109/RE.2019.00031
- Fiquitiva Segura, N., & Lopez Ruiz, M. A. (2015). Prototipo de aplicativo para especificar requerimientos de software. Retrieved from <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/4167/1/PROTOTIPO%20DE%20APLICATIVO%20PARA%20ESPECIFICAR%20REQUERIMIENTOS%20DE%20SOFTWARE.pdf>
- Garcia, A. P., Suarez, O., & Castellanos, W. (2016). ERAAE virtual library. Paper presented at the CHILECON 2015 - 2015 IEEE Chilean Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies, Proceedings of IEEE Chilecon 2015, 911-916. doi:10.1109/Chilecon.2015.7404681.
- G. Deshpande. (2019). SREYantra: Automated software requirement inter-dependencies elicitation, analysis and learning
doi:10.1109/ICSE-Companion.2019.00076
- Goasduff, L. (2019). Top trends on the gartner hype cycle for artificial intelligence, 2019
Retrieved from <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-on-the-gartner-hype-cycle-for-artificial-intelligence-2019/>
- Gramajo, M. G., Ballejos, L. C., & Ale, M. (2018). Análisis de las técnicas de aprendizaje automático aplicadas en la ingeniería de requerimientos de software: un mapeo sistemático de la literatura Retrieved from <https://www.openaire.eu/search?q=&Search=>
- H. Belani, M. Vukovic, & Ž. Car. (2019). Requirements engineering challenges in building AI-based complex systems
doi:10.1109/REW.2019.00051
- IEEE. (2017). ISO/IEC/IEEE international standard - systems and software engineering-- vocabulary
doi:10.1109/IEEESTD.2017.8016712
- IEEE. (2018). ISO/IEC/IEEE international standard - systems and software engineering -- life cycle processes -- requirements engineering.
doi:10.1109/IEEESTD.2018.8559686
- IEEE. (2019). ISO/IEC/IEEE international standard - systems and software engineering - life cycle processes - project management
doi:10.1109/IEEESTD.2019.8932690

- IEEE. (2020). IEEE recommended practice for assessing the impact of autonomous and intelligent systems on human well-being doi:10.1109/IEEESTD.2020.9084219
- IEEE Computer Society. (1998). IEEE recommended practice for software requirements specifications. United States of America: Software Engineering Standards Committee. doi:10.1109/IEEESTD.1998.88286
- J. Fischbach, M. Junker, A. Vogelsang, & D. Freudenstein. (2019). Automated generation of test models from semi-structured requirements doi:10.1109/REW.2019.00053
- J. H. Hayes, J. Payne, & M. Leppelmeier. (2019). Toward improved artificial intelligence in requirements engineering: Metadata for tracing datasets doi:10.1109/REW.2019.00052
- J. Horkoff. (2019). Non-functional requirements for machine learning: Challenges and new directions doi:10.1109/RE.2019.00050
- J. P. Winkler, J. Grönberg, & A. Vogelsang. (2019a). Optimizing for recall in automatic requirements classification: An empirical study doi:10.1109/RE.2019.00016
- J. P. Winkler, J. Grönberg, & A. Vogelsang. (2019b). Predicting how to test requirements: An automated approach doi:10.1109/RE.2019.00023
- K. Madala. (2019). An artificial intelligence-based model-driven approach for exposing off-nominal behaviors doi:10.1109/ICSE-Companion.2019.00085
- K. Sangounpao, & P. Muenchaisri. (2019). Ontology-based naive bayes short text classification method for a small dataset doi:10.1109/SNPD.2019.8935711
- L. Chazette. (2019). Mitigating challenges in the elicitation and analysis of transparency requirements doi:10.1109/RE.2019.00064
- Loaiza Carvajal, V. C., Zorro Jimenez, L. C., Torres Moreno, M. E., Gonzalez Rivera, R. A., & Amortegui Vargas, M. (2018). Ingeniería de requerimientos (1ª ed.). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/j.ctv86dfv4>
- M. Chechik. (2019). Uncertain requirements, assurance and machine learning doi:10.1109/RE.2019.00010
- M. Kim, S. Dey, & S. Lee. (2019). Ontology-driven security requirements recommendation for APT attack doi:10.1109/REW.2019.00032
- M. Mezghani, J. Kang, E. Kang, & F. Sedes. (2019). Clustering for traceability managing in system specifications doi:10.1109/RE.2019.00035
- M. Rahimi, J. L. C. Guo, S. Kokaly, & M. Chechik. (2019). Toward requirements specification for machine-learned components doi:10.1109/REW.2019.00049
- Moya, S., Hinojosa, C., & Reyes, R. (2016). Formulación de un modelo para evaluar herramientas de análisis de requerimientos, basado en la norma ISO 25000. *Geeks Decc-Reports*, 2(1)
- MOZILLA. (2020). MDN WEB DOCS. Retrieved from <https://developer.mozilla.org/es/>
- N. Al Kilani, R. Tailakh, & A. Hanani. (2019). Automatic classification of apps reviews for requirement engineering: Exploring the customers need from healthcare applications doi:10.1109/SNAMS.2019.8931820
- N. Garanina, & O. Borovikova. (2019). Ontological approach to checking event consistency for a set of temporal requirements doi:10.1109/SIBIRCON48586.2019.8958119
- P. R. Anish, A. Sainani, A. Ahmed, & S. Ghaisas. (2019). Implementation-centric classification of business rules from documents doi:10.1109/REW.2019.00047
- Peláez-Valencia, L. E., Toro-Lazo, A., Ledesma-Mariño, L. D., Rodríguez-Franco, D. E., & Largo-Bueno, E. H. (2019). Revisión de herramientas para la gestión de requisitos: Un aporte al aseguramiento de la calidad del software. *Ventana Informatica*, (38) doi:10.30554/ventanainform.38.2865.2018
- Ponce Cruz, P. (2010). *Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería*. México D.F.: Alfaomega.
- Pressman, R. (2010). *Ingeniería del software: Un enfoque práctico* (Séptima ed.). México: Mc Graw Hill.
- Project Management Institute. (2017). *Pulse of the profession: IX encuesta mundial sobre direccion de proyectos*. USA:
- Project Management Institute. (2019). *AI innovators: Cracking the code on project performace*. Estados Unidos:
- R. Samer, M. Stettinger, M. Atas, A. Felfernig, G. Ruhe, & G. Deshpande. (2019). New approaches to the identification of dependencies between requirements doi:10.1109/ICTAI.2019.00-91

- Rusell, S., & Norvig, P. (2004). *Inteligencia artificial, un enfoque moderno* (Segunda ed.). Madrid: Pearson educación.
- S. Abualhajja, C. Arora, M. Sabetzadeh, L. C. Briand, & E. Vaz. (2019). A machine learning-based approach for demarcating requirements in textual specifications doi:10.1109/RE.2019.00017
- S. Yahya, M. Kamalrudin, S. Sidek, M. Jaimun, J. Yusof, A. K. Hua, & P. Gani. (2019). A review paper: Security requirement patterns for a secure software development doi:10.1109/AiDAS47888.2019.8971014
- Santana, S., Perero, L., Delduca, A., & Dapozo, G. (2020). Evaluation of open source tools for requirements management . *Communications in Computer and Information Science*, 1184, 188-204. Retrieved from https://doi.org/10.1007/978-3-030-48325-8_13
- Shah, A., Alasow, M. A., Sajjad, F., & Baig, J. J. A. (2017). (2017). An evaluation of software requirements tools. Paper presented at the 2017 Eighth International Conference on Intelligent Computing and Information Systems (ICICIS), 278-283.
- Sommerville, I. (2011). *Ingeniería de software* (Novena ed.). México: Pearson Educación.
- Suarez, O. J., Vega, C. J., Sanchez, E. N., Gonzalez-Santiago, A. E., & Pardo-Garcia, A. (2019). Pinning control applied to gene regulatory networks. Paper presented at the 2018 IEEE Latin American Conference on Computational Intelligence, LA-CCI 2018, doi:10.1109/LA-CCI.2018.8625206
- T. Iqbal, N. Seyff, & D. Mendez. (2019). Generating requirements out of thin air: Towards automated feature identification for new apps doi:10.1109/REW.2019.00040
- T. Rietz. (2019). Designing a conversational requirements elicitation system for end-users doi:10.1109/RE.2019.00061
- Taha, H. A. (2004). *Investigación de operaciones* Pearson Educación.
- Toro Lazo, A., & Gálvez Botero, J. G. (2016). Especificación de requisitos de software: Una mirada desde la revisión teórica de antecedentes. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 10, 108-115. Retrieved from <http://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaingenieria/article/download/506/511>
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). *La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. *Revista Educación*, 33(1), 155. doi:10.15517/revedu.v33i1.538
- Zoila Rosa Vargas Cordero. (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. *Revista Educación*, 33(1), 155-165. Retrieved from <https://doaj.org/article/654c153986e9436c9d65cb17bd897c19>