

Tipo de artículo: Artículo de revisión

Aplicaciones de la Inteligencia Artificial en técnicas de minería de procesos

Applications of Artificial Intelligence in process mining technical

Alberto RodríguezRodríguez^{1*}  <https://orcid.org/0000-0002-1238-0106>

Vicente Fray Romero Castro²  <https://orcid.org/0000-0001-5792-0105>

Antonieta del Carmen Rodríguez González³  <https://orcid.org/0000-0002-0377-4013>

Nicolás Alfonso Cabezas Baque⁴  <https://orcid.org/0000-0003-3206-1951>

Julio C. Pino Tarragó⁵  <https://orcid.org/0000-0001-7580-0895>

¹Licenciado en Matemáticas, Máster en Ciencias de la Educación. Doctor en Ciencias Pedagógicas. Docente de la carrera Tecnologías de la Información. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

²Ingeniero en Sistemas. Magister en Sistemas de Información General. Docente de la carrera Tecnologías de la Información. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

³Licenciada en Ciencias de la Educación. Mención Inglés. Magister en Enseñanza del Idioma Inglés. Docente de la carrera Tecnologías de la Información. Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

⁴Licenciado en Psicología. Estudiante de la maestría en Educación Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Manabí, Ecuador.

⁵Doctor en Ciencias. Master en Máquinas Agrícolas. Ingeniero mecánico. Docente Universidad Estatal del Sur de Manabí. Jipijapa, Ecuador.

* Autor para correspondencia: alberto.rodriguez@unesum.edu.ec

Resumen

En la actualidad, el análisis procesamiento de datos representa un área del conocimiento que permite la extracción de conocimientos oculto. Las técnicas de minería de datos ofrecen una forma de gestionar la información que permite elevar la eficiencia de los diferentes procesos de una institución. En este contexto se integran los algoritmos inteligentes con la minería de proceso para estudiar operaciones y transacciones de los diferentes procesos internacionales. La presente investigación realiza un estudio sobre aplicaciones de la inteligencia artificial en algoritmos de minería de proceso. Presenta a partir del mapeo sistemático de la literatura el protocolo de búsqueda y clasificación de información. Se obtiene en los resultados los principales dominios de aplicación de la minería de proceso. Esta investigación se asocia a los proyectos de investigación sobre la enseñanza constructivista sustentada en la inteligencia artificial y al de metodología para auditoría automática de peligros y puntos críticos de control aplicando minería de procesos.

Palabras clave: minería de proceso, inteligencia artificial, minería de datos.

Abstract

At present, data processing analysis represents an area of knowledge that allows the extraction of hidden knowledge. Data mining techniques offer a way of managing information that allows increasing the efficiency of the different processes of an institution. In this context, intelligent algorithms are integrated with process mining to study operations and transactions of the different international processes. This research carries out a study on applications of artificial intelligence in process mining algorithms. From the systematic mapping of the literature, it presents the protocol for searching and classifying information. The main application domain of process mining is obtained in the results. This research is associated with the research projects on



Esta obra está bajo una licencia Creative Commons de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

constructivist teaching based on artificial intelligence and the methodology for automatic auditing of hazards and critical control points applying process mining.

Keywords: minería de proceso, inteligencia artificial, minería de datos.

Recibido: 15/02/2021
Aceptado: 20/06/2021

Introducción

La minería de procesos tiene como objetivo analizar grandes registros de eventos con el fin de identificar información útil. Este proceso permite a los usuarios realizar tareas tan fundamentales como el análisis en la toma de decisiones y el pronóstico o predicción, de una forma más sencilla y menos compleja.

En la minería de procesos se usan técnicas de Inteligencia Artificial, y la implementación de algoritmos de búsqueda, herramientas estadísticas y de análisis de datos avanzadas para revelar patrones difíciles de detectar en condiciones humanas. De este modo, la minería de procesos permite el análisis de datos desde diferentes perspectivas para encontrar patrones ocultos que los describan y resumirlos para obtener información útil, basados en registros de eventos. La identificación de patrones y relaciones globales, tendencias, desviaciones y otros indicadores aparentemente caóticos.

En la minería de procesos, todas las actividades registradas en un registro de eventos se emplean para descubrir automáticamente asociaciones dentro de las actividades y para analizar el proceso de ejecución real del entorno. Además, en los registros de eventos de los sistemas de información, no solo hay actividades, sino también otros atributos, como la identificación del evento, la marca de tiempo y el recurso.

Actualmente, la mayoría de las técnicas de descubrimiento de procesos se basan en un registro de eventos completo que contiene todos los valores de los datos. Como se registra una gran cantidad de datos en el registro de eventos, la probabilidad de que falten datos aumenta. Es esta una de las principales limitaciones de la minería de procesos, ya que no es realista suponer que estos registros de eventos complejos están completos.

Las técnicas de Minería de Procesos son capaces de extraer conocimiento de los registros de eventos comúnmente disponibles en los sistemas de información actuales. Estas técnicas proveen nuevos medios para descubrir, monitorear y mejorar los procesos en una variedad de dominios de aplicación. Hay dos razones principales para el creciente interés en Minería de Procesos. Se registran más y más eventos, proporcionando información detallada acerca de la historia de los procesos (Theis et al., 2021). Además, hay una necesidad de mejorar y apoyar los procesos de negocio en ambientes competitivos y que cambian rápidamente (Matsuyama, 2021).



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Las organizaciones tienen problemas para lidiar con grandes cantidades de datos porque la mayoría de información está almacenada de forma digital y no está estructurada. Uno de los principales retos de las organizaciones de hoy en día es extraer la información y el valor de los datos almacenados de sus sistemas de información. La importancia de los sistemas de información no sólo se refleja en el crecimiento de los datos, sino también por el papel que estos desempeñan en los procesos de negocio.

La Figura 1 muestra un resumen de las principales técnicas implementadas en la minería de procesos. La figura fue construida a partir de la revisión de trabajos recientes, publicados en bases de datos científicas. La clasificación se realizó tomando en cuenta aportaciones realizadas en (Dou et al., 2015; Engelbrecht, 2007; Stuart & Norvig, 2010).



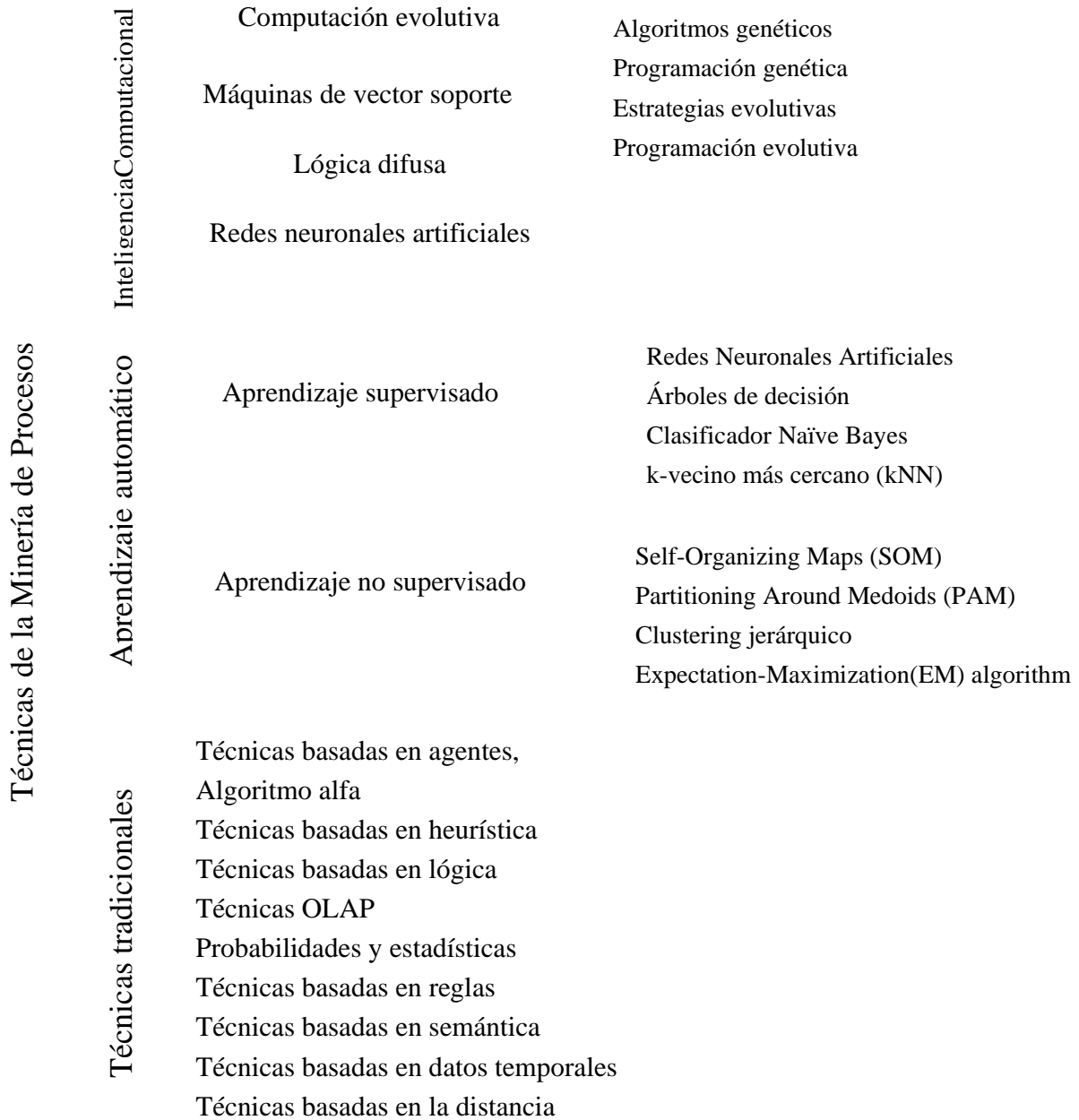


Figura 1: Técnicas de minería de procesos.

Elaborado a partir de (Dou et al., 2015; Engelbrecht, 2007; Stuart & Norvig, 2010).



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

Trabajos relacionados

La minería de procesos ha sido atraída por muchos investigadores para llevar a cabo el descubrimiento del modelo de proceso, la verificación de conformidad y la mejora del proceso del contexto. Las técnicas de minería de procesos se han utilizado en muchos campos, como el comercio electrónico (Wardhani & Yunanto, 2017), la salud (Gatta et al., 2017; Gurgun Erdogan & Tarhan, 2018; Rojas et al., 2017; Sundari & Nayak, 2020), la educación (Porouhan & Premchaiswadi, 2017; Rogiers et al., 2020), las redes sociales (Berti et al., 2019; Diamantini et al., 2017; Li & Carvalho, 2019), la industria (Mahendrawathi et al., 2018; Meincheim et al., 2017; Van Der Aalst et al., 2007), la música (Florido & Raittz, 2018), el *Internet of Things* (IoT) (Osman & Ghiran, 2019; Yao et al., 2019), entre otros sectores de impacto en la sociedad.

En (Li & Carvalho, 2019) se emplea un tipo novedoso de técnicas de minería de procesos basadas en modelos de restricción de comportamiento centrados en objetos para obtener información a partir de los datos de eventos en las redes sociales. Con base en datos de la vida real, los modelos de proceso se extraen para describir los patrones de comportamiento de los usuarios. El cumplimiento y el rendimiento se analizan para detectar las desviaciones y los cuellos de botella en el proceso de preguntas y respuestas en redes sociales, por ejemplo, Facebook, Stack Exchange y Wikipedia, las cuales proporcionan cantidades sin precedentes de datos sociales.

En (Rojas et al., 2017) se presenta una herramienta basada en la web para la minería de procesos basada en preguntas en la sala de emergencias. Se utiliza el algoritmo de descubrimiento de Palia e incluye funciones de filtrado y simplificación de modelos especialmente específicas de dominio para las salas de emergencia hospitalarias. La mayoría de las funcionalidades de esta herramienta se pueden aplicar a otros contextos interdisciplinarios como otras unidades de salud, educación o logística.

En (Li, Fan, et al., 2019) se realiza una propuesta para disminuir los inconvenientes de los algoritmos de minería de procesos asociados con la gestión de datos inciertos. La investigación presentada por los autores mejora las medidas de correlación en la minería heurística para construir una matriz de correlación basada en una matriz de frecuencia mejorada que se combina con el principio de máxima entropía. Se obtiene como resultado un método autoadaptativo para determinar el umbral, que se utiliza para eliminar la relación de datos inciertos en los registros. Además, se presenta un marco de algoritmo para eliminar de forma adaptativa datos inciertos.

En (Agostinelli et al., 2020), se presenta una solución para extraer conocimiento de los datos disponibles en el sector hospitalario y tomar decisiones basadas en un análisis cuantitativo. Para abordar este problema se utilizan técnicas de minería de procesos en el ámbito de la salud. Las técnicas de minería de procesos utilizadas infieren un conocimiento significativo sobre los flujos de atención del paciente a partir de registros de eventos sin procesar que consisten en



datos clínicos almacenados por los sistemas de información hospitalaria. Estos registros de eventos se analizan utilizando el *ProMframework* para el flujo de control, la organización y el desempeño. Los resultados del estudio de caso propuesto muestran que la minería de procesos proporcionó información útil para la gobernanza del hospital.

Objetivo de la investigación

La aplicación de la Inteligencia Artificial en técnicas de minería de procesos permite a los sistemas aprender de las tendencias actuales en disímiles áreas y detectan los elementos más relevantes a considerar. Además, proporcionan las facilidades para mejorar la adaptación de las aplicaciones a cada usuario. La difusión de la minería de procesos se evalúa analizando la amplitud de dominios a los que se ha aplicado y la variedad de herramientas y técnicas empleadas (Emamjome et al., 2019).

Motivados por la utilización de la minería de procesos en múltiples áreas de impacto, se decidió desarrollar esta investigación con el objetivo de realizar un estudio sobre aplicaciones de la inteligencia artificial en algoritmos de minería de proceso que permita presentar el análisis bibliométrico y demográfico en esta área. El documento se encuentra estructurado en introducción, materiales y métodos, resultados y discusión. La introducción presentó los principales conceptos asociados a la minería de procesos, así como algunos trabajos relacionados con el objeto de estudio. En la sesión Materiales y métodos se define el método aplicado para realizar el mapeo sistemático. En los resultados se exponen los elementos identificados durante la minería de proceso. Al finalizar, se presentan las conclusiones.

Materiales y métodos

En la presente sección se definen los elementos fundamentales que se tendrán en cuenta para la realización del mapeo sistemático. Un mapeo sistemático de la literatura es un mecanismo utilizado para contextualizar un área particular de interés a través de la identificación, evaluación e interpretación del conjunto de trabajos de investigación que describen dicha área (Soaita et al., 2020). Para esta investigación se define como área de interés la aplicación de la inteligencia artificial en la minería de procesos. Para la implementación de la propuesta se definen los siguientes pasos propuestos en (Kitchenham et al., 2010): Definición de las preguntas de investigación (RQ) y definición del protocolo.

Definición de las preguntas de investigación (RQ)

Fueron definidas tres preguntas de investigación atendiendo a los criterios que motivaron este mapeo sistemático. Estas preguntas están dirigidas fundamentalmente a identificar las diferentes técnicas de minería de procesos que más se utilizan en las investigaciones recientes realizadas por diversos autores y a identificar las principales áreas de



investigación y resultados demográficos obtenidos en este campo con el fin de obtener una comprensión amplia de esta área de investigación multidisciplinar. El estudio se enfoca en responder a las siguientes preguntas de investigación:

- RQ1: ¿Cuáles son las técnicas comúnmente aplicadas en la minería de procesos?
- RQ2: ¿Cuáles son las tendencias demográficas en las publicaciones sobre minería de procesos?

Los criterios de inclusión o exclusión permiten extraer las posibles referencias de estudios primarios sobre el tema (criterios de selección). Con estos criterios se busca asegurar que exista coherencia entre el tema del estudio y la pregunta que se pretende contestar con la revisión (es decir, criterios de selección temáticos) y que el diseño de los estudios cumpla ciertas condiciones básicas.

Criterios de inclusión:

- La investigación aborda como tema principal la minería de procesos.
- La investigación caracteriza e implementa técnicas de inteligencia artificial en la minería de procesos de manera individual o híbrida.
- La investigación aborda la minería de procesos para un área de impacto específica, o propone algoritmos para la implementación general.
- La investigación representa estudios cualitativos y cuantitativos.
- Se incluyen trabajos en idioma inglés y español.

Criterios de exclusión:

- El artículo se publicó como un estudio breve y no como un estudio completo.
- El artículo se publicó antes de 2017.
- El artículo no está disponible electrónicamente en la web.
- El texto completo no está disponible.
- Se excluyeron todos aquellos estudios sin revisiones por pares, los artículos sin diseño de investigación y opiniones de expertos (*position paper*) que no presentan evidencias.

Definición del protocolo

La presente investigación se enfoca en el área del conocimiento de la Inteligencia Artificial, específicamente la minería de proceso, asociado a los proyectos de investigación sobre la enseñanza constructivista sustentada en la inteligencia artificial y al de metodología para auditoría automática de peligros y puntos críticos de control aplicando minería de procesos.



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

Para el desarrollo de esta investigación se consideraron las bases de datos IEEE, Scielo, Scopus y la ThomsonRouters. Con el uso de los buscadores Science Research, Semantic Scholar, Google scholar, Science Direct e IEEE Xplore Digital Library se identificó la tendencia actual sobre las investigaciones relacionadas. También se realizaron búsquedas oportunistas, referencias de artículos relacionados y otros artículos ya identificados. El período de búsqueda incluye publicaciones desde 2017 hasta 2021.

La cadena fundamental de búsqueda utilizada en la base de datos fue: (técnicas de minería de procesos OR process mining technical).

Para identificar los trabajos primarios se realizaron filtros de: revisión de títulos, revisión de resumen o abstract. Las publicaciones que pasaron el filtrado mencionado se consideraron para su lectura y análisis completo de su contenido.

Resultados y discusión

En esta sección serán descritos los principales modelos propuestos por autoresreferenciados dentro del campo de la minería de proceso a partir de la información primaria obtenida de la búsqueda bibliográfica. Se muestran los resultados obtenidos en la revisión sistemática y exhaustiva de la literatura científica, sobre los artículos publicados en el campo la inteligencia artificial y las técnicas de minería de procesos. Fueron revisados los artículos seleccionados en la ejecución de la búsqueda, para identificar las principales tendencias de las técnicas tradicionales la minería de procesos y las principales áreas de aplicación. Se informan brevemente los puntos destacados de cada artículo seleccionado. El tiempo de publicación de los artículos seleccionados varió de 2017 a 2021.

Respuesta a la pregunta RQ1: ¿Cuáles son las técnicas comúnmente aplicadas en la minería de procesos?

Para dar respuesta a la pregunta de investigación, Q1: ¿Cuáles son las principales técnicas de minería de procesos?, se elaboró la Tabla 1, la cual muestra las principales técnicas de minería de procesos empleadas en los artículos revisados, una pequeña descripción de la técnica, y las referencias bibliográficas más representativa del uso de cada técnica, identificado en el estudio.

Tabla 1. Técnicas de minería de procesos utilizadas en los estudios revisados

Heuristic Miner	Basadas en supuestos que pueden ser de diferentes tipos: principios, reglas de sentido común y estrategias. En esta clase de heurísticas se implementan técnicas tales como Algoritmo A * y Recocido simulado (Caesarita et al., 2017; Effendi et al., 2019; K. Ganesha, M. Soundarya, et al., 2017; K Ganesha et al., 2017; K. Ganesha, K. V. Supriya, et al., 2017; Jyoti & Sharma, 2020; Tibeme et al.,
-----------------	--



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

	2018)
FuzzyMiner	Generalización de la lógica de muchos valores que permite el cálculo con valores de verdad. Esta es una teoría adecuada para abordar la representación de la incertidumbre, la incompletitud y la vaguedad, lo que permite la implementación de un razonamiento aproximado(Ardimento et al., 2019; Bohacik & Zabovsky, 2018; Jangvaha et al., 2017; Koosawad et al., 2018; Meengoen et al., 2020; Porouhan & Premchaiswadi, 2018; Premchaiswadi et al., 2018; Rismanchian & Lee, 2017; Sakchaikun et al., 2018; Sirijaitham et al., 2017; Tibeme et al., 2018; Yang et al., 2017).
Alpha Algorithm	Uno de los primeros algoritmos desarrollados específicamente para la minería de procesos. Este algoritmo tiene como objetivo reconstruir la causalidad a partir de un conjunto de secuencias de eventos. Su objetivo es identificar un modelo de flujo de trabajo basado en Petri nets (Effendi et al., 2019; Matsuyama, 2021; Nafasa et al., 2019; Porouhan et al., 2014; Premchaiswadi & Porouhan, 2015; Rahmawati et al., 2016).
Social Network Miner	Técnica utilizada para analizar las redes sociales y encontrar patrones de interacción o evaluar el rol de un individuo en una organización(Arafeh et al., 2019; Baydogan & Alatas, 2018; Li et al., 2020; Li, Bai, et al., 2019; Nosouhi et al., 2017; Obregon et al., 2019; Porouhan & Premchaiswadi, 2019; Reza et al., 2017; Sun et al., 2019; Yahiatene & Rachedi, 2018; Yamaguchi et al., 2017; Zhang et al., 2020)
GeneticProcessMiner	Junto con laprogramación genética, estrategias evolutivas y programación evolutiva, forma parte de la denominada <i>Evolutionarycomputation</i> . Implementa estrategias que comienzan con una población de individuos, que se someten a operadores genéticos para crear nuevos individuos en un proceso evolutivo. En este proceso sólo sobreviven los mejores individuos o mejores soluciones(Abdollahi et al., 2019; Bizzaro et al., 2020; Li et al., 2017).
Alpha ++ Miner	Es una extensión del algoritmo minero Alpha que puede lidiar con bucles cortos y auto bucles y encuentra construcciones adicionales de libre elección que le permite descubrir patrones más complejos(Caesarita et al., 2017; Effendi & Sarno, 2018).
ILP Miner	Este algoritmo se utiliza para el descubrimiento de procesos descompuestos y la verificación de conformidad descompuesta Las técnicas de minería de procesos basadas en programación lineal entera (ILP) brindan resultados que aunque no escalan bien en el número de actividades, existe una compensación entre el tiempo de ejecución y la calidad (Cinque et al., 2019; Guha et al., 2019; Satitcharoenmuang et al., 2017).
Declare Miner	(Hassija et al., 2020; Smedt et al., 2020; Starov et al., 2019)
Inductive Visual Miner	(Cho et al., 2017; K. Ganesha, M. Soundarya, et al., 2017; Garcia et al., 2016; Toyawanit & Premchaiswadi, 2016)
Enhanced Fuzzy Miner	(Binsaadoon & El-Alfy, 2016; Kapila, 2017; Kapila & Bajaj; Kingsley et al., 2016)



Guide Tree Miner	GuideTreeMiner utiliza el algoritmo de Agrupación Jerárquica Aglomerativa (AHC). La salida del árbol muestra la jerarquía de nodos que resulta de la AHC (Bizzaro et al., 2020; Nurlaili & Sarno, 2017)
Redes neuronales artificiales	Son un modelo matemático diseñado para realizar cálculos de una manera similar a la que realizan los cerebros biológicos mientras realizan tareas específicas. Las redes neuronales artificiales son un modelo de computación masiva distribuida y paralela, implementado en unidades de computación simples (neuronas) conectadas a través de enlaces ponderados (sinapsis) que modifican la computación realizada en las unidades. Los pesos se asignan a los enlaces a través del llamado proceso de aprendizaje que cambia los pesos utilizando un procedimiento específico orientado a un propósito.
Support vector machines	Las máquinas de vectores de soporte se pueden considerar teóricamente como una red neuronal artificial de retroalimentación diseñada originalmente como máquinas de aprendizaje binario. Las máquinas de vectores de soporte son básicamente un modelo de inducción capaz de construir un hiperplano de separación óptimo a través de una clase de algoritmos de aprendizaje basados en métodos de kernel. El algoritmo de aprendizaje de las máquinas de vectores de soporte tiene la peculiaridad de trabajar con la minimización del riesgo estructural en lugar de la minimización del riesgo empírico como hacen la mayoría de los algoritmos de aprendizaje de las redes neuronales artificiales.

Respuesta a RQ2: ¿Cuáles son las tendencias demográficas en las publicaciones sobre minería de procesos?

La Tab2a 2 muestra la cantidad de trabajos publicados en el periodo 2017-2021 según el tipo de publicación. Los datos recopilados evidencian que la publicación de trabajos relacionados con la minería de procesos ha aumentado considerablemente en los últimos años.



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

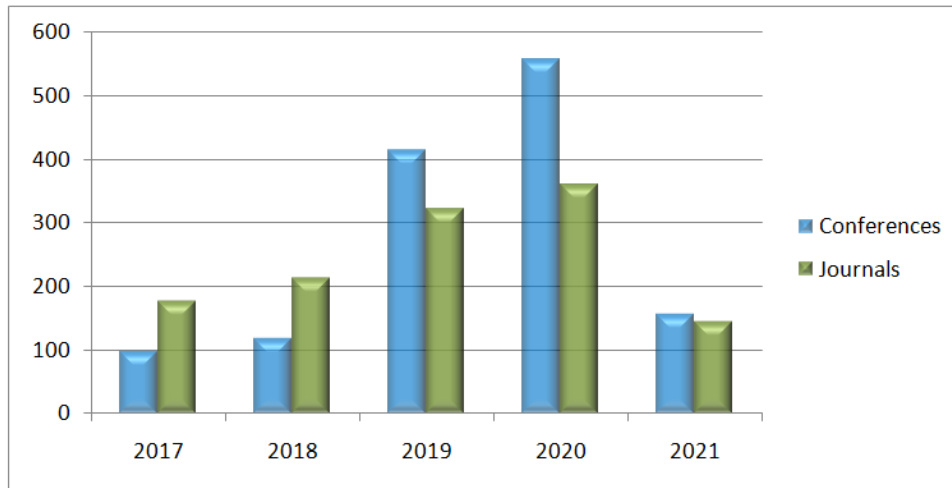


Figura 1. Trabajos publicados en el periodo 2017-2021 según el tipo de publicación.

En la figura 3, se muestran las tareas de la minería de procesos que comúnmente se implementan en las investigaciones revisadas.

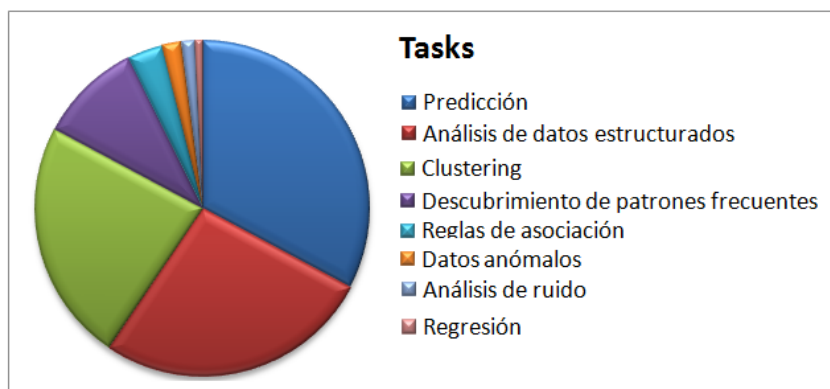


Figura 2. Tareas de la minería de procesos que comúnmente se implementan en las investigaciones revisadas.

En la figura 4 se muestra los dominios de aplicación de la minería de procesos, abordados en las diferentes investigaciones publicadas.



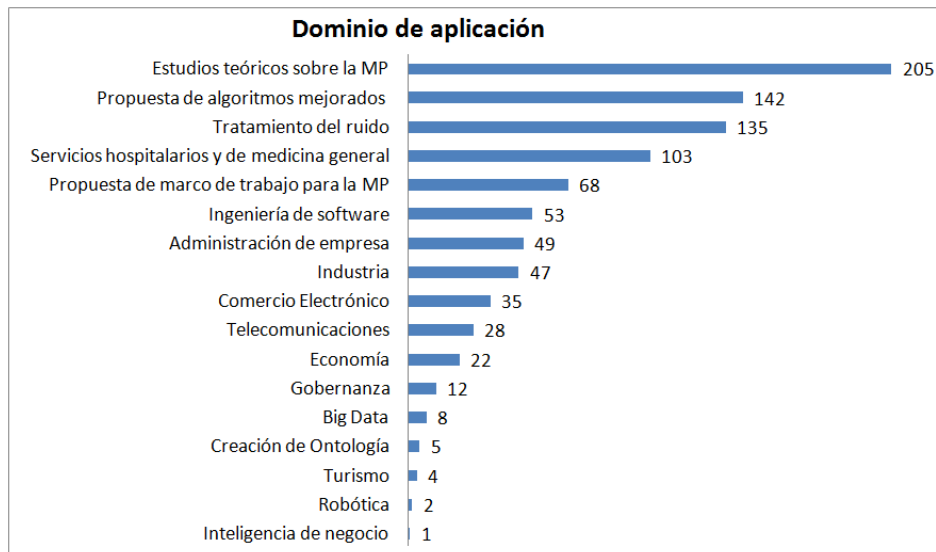


Figura 3. Dominios de aplicación de la minería de procesos

Conclusiones

Durante la última década, las técnicas de minería de procesos han madurado y cada vez más organizaciones han comenzado a utilizar la minería de procesos para analizar sus procesos operativos. Con el desarrollo de la presente investigación se realizó un estudio sobre aplicaciones de la inteligencia artificial en algoritmos de minería de proceso. Se identificaron las principales técnicas de minería de proceso para el contexto de la presente investigación.

Conflictos de intereses

Los autores de la presente contribución declaran que no poseen conflicto de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Alberto Rodríguez Rodríguez.
2. Curación de datos: Alberto Rodríguez Rodríguez.
3. Investigación: Alberto Rodríguez Rodríguez.
4. Metodología: Alberto Rodríguez Rodríguez.
5. Administración de los proyectos: Julio C. Pino Tarragó y Lenin Jonatan Pin García.



obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

6. Software: Vicente Fray Romero Castro.
7. Supervisión: Alberto Rodríguez Rodríguez.
8. Validación: Alberto Rodríguez Rodríguez.
9. Visualización: Vicente Fray Romero Castro.
10. Redacción – borrador original: Alberto Rodríguez Rodríguez.
11. Redacción – revisión y edición: Alberto Rodríguez Rodríguez.

Financiamiento

La investigación ha sido financiada por los autores.

Referencias

- Abdollahi, H., Noaparast, M., Shafaei, S. Z., Akcil, A., Panda, S., Kashi, M. H., & Karimi, P. (2019). Prediction and optimization studies for bioleaching of molybdenite concentrate using artificial neural networks and genetic algorithm. *Minerals Engineering*, *130*, 24-35.
- Agostinelli, S., Covino, F., Agnese, G. D., Crea, C. D., Leotta, F., & Marrella, A. (2020). Supporting Governance in Healthcare Through Process Mining: A Case Study. *IEEE Access*, *8*, 186012-186025. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3030318>
- Arafeh, M., Ceravolo, P., Mourad, A., & Damiani, E. (2019, 22-25 Oct. 2019). Sampling Online Social Networks with Tailored Mining Strategies. 2019 Sixth International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security (SNAMS),
- Ardimento, P., Bernardi, M. L., Cimitile, M., & Ruvo, G. D. (2019, 23-26 June 2019). Learning analytics to improve coding abilities: a fuzzy-based process mining approach. 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE),
- Baydogan, C., & Alatas, B. (2018, 22-25 March 2018). Sentiment analysis using Konstanz Information Miner in social networks. 2018 6th International Symposium on Digital Forensic and Security (ISDFS),
- Berti, A., van Zelst, S. J., & van der Aalst, W. (2019). Process mining for python (PM4Py): bridging the gap between process-and data science. *arXiv preprint arXiv:1905.06169*.
- Binsaadoon, A. G., & El-Alfy, E. M. (2016, 28-30 Nov. 2016). Kernel-Based Fuzzy Local Binary Pattern for Gait Recognition. 2016 European Modelling Symposium (EMS),



obra está bajo una licencia **Creative Commons de tipo Atribución 4.0 Internacional**
(CC BY 4.0)

- Bizzaro, F., Conti, M., & Pini, M. S. (2020, 2-6 Nov. 2020). Proof of Evolution: leveraging blockchain mining for a cooperative execution of Genetic Algorithms. 2020 IEEE International Conference on Blockchain (Blockchain),
- Bohacik, J., & Zabovsky, M. (2018, 15-16 Nov. 2018). Fuzzy Rule Miner: A Software Library Used in Project Based Teaching of Topics Related to Knowledge Discovery in Databases. 2018 16th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA),
- Caesarita, Y., Sarno, R., & Sungkono, K. R. (2017, 31-31 Oct. 2017). Identifying bottlenecks and fraud of business process using alpha ++ and heuristic miner algorithms (Case study: CV. Wicaksana Artha). 2017 11th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS),
- Cinque, M., Corte, R. D., & Pecchia, A. (2019, 17-20 Sept. 2019). Discovering Hidden Errors from Application Log Traces with Process Mining. 2019 15th European Dependable Computing Conference (EDCC),
- Cho, M., Song, M., Comuzzi, M., & Yoo, S. (2017). Evaluating the effect of best practices for business process redesign: An evidence-based approach based on process mining techniques. *Decision Support Systems*, 104, 92-103.
- Diamantini, C., Genga, L., Marozzo, F., Potena, D., & Trunfio, P. (2017). Discovering mobility patterns of instagram users through process mining techniques. 2017 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI),
- Dou, D., Wang, H., & Liu, H. (2015). Semantic data mining: A survey of ontology-based approaches. Proceedings of the 2015 IEEE 9th international conference on semantic computing (IEEE ICSC 2015),
- Effendi, Y. A., Retrialisca, F., & Nuzulita, N. (2019, 7-9 Nov. 2019). Conformance Checking to Evaluate Business Process Models using Modified Time-based Heuristics Miner Algorithm. 2019 IEEE Conference on Sustainable Utilization and Development in Engineering and Technologies (CSUDET),
- Effendi, Y. A., & Sarno, R. (2018, 21-22 Sept. 2018). Conformance Checking Evaluation of Process Discovery Using Modified Alpha++ Miner Algorithm. 2018 International Seminar on Application for Technology of Information and Communication,
- Emamjome, F., Andrews, R., & ter Hofstede, A. H. (2019). A case study lens on process mining in practice. OTM Confederated International Conferences" On the Move to Meaningful Internet Systems",
- Engelbrecht, A. P. (2007). *Computational intelligence: an introduction*. John Wiley & Sons.
- Florido, I., & Raittz, R. T. (2018, 1-5 Oct. 2018). Hybrid Method for Automatic Music Labeling. 2018 XLIV Latin American Computer Conference (CLEI),



- Ganesha, K., Soundarya, M., & Supriya, K. V. (2017, 10-11 March 2017). The best fit process model for the utilization of the physical resources in hospitals by applying inductive visual miner. 2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT),
- Ganesha, K., Supriya, K., & Soundarya, M. (2017). Analyzing the waiting time of patients in hospital by applying heuristics process miner. 2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT),
- Ganesha, K., Supriya, K. V., & Soundarya, M. (2017, 10-11 March 2017). Analyzing the waiting time of patients in hospital by applying heuristics process miner. 2017 International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT),
- Garcia, A. O., Armenteros, O. U. L., Ramirez, Y. E. P., & Alfonso, D. P. (2016). Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital Information System. *IEEE Latin America Transactions*, 14(4), 1930-1936. <https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7483536>
- Gatta, R., Lenkowicz, J., Vallati, M., Rojas, E., Damiani, A., Sacchi, L., De Bari, B., Dagliati, A., Fernandez-Llatas, C., & Montesi, M. (2017). pMineR: an innovative R library for performing process mining in medicine. Conference on Artificial Intelligence in Medicine in Europe,
- Guha, A., Vedula, N., & Shriraman, A. (2019, 23-26 Sept. 2019). Deepframe: A Profile-Driven Compiler for Spatial Hardware Accelerators. 2019 28th International Conference on Parallel Architectures and Compilation Techniques (PACT),
- Gurgen Erdogan, T., & Tarhan, A. (2018). A goal-driven evaluation method based on process mining for healthcare processes. *Applied Sciences*, 8(6), 894.
- Hassija, V., Chamola, V., Han, G., Rodrigues, J. J. P. C., & Guizani, M. (2020). DAGIoV: A Framework for Vehicle to Vehicle Communication Using Directed Acyclic Graph and Game Theory. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(4), 4182-4191. <https://doi.org/10.1109/TVT.2020.2968494>
- Jangyaha, K., Porouhan, P., Palangsantikul, P., & Premchaiswadi, W. (2017, 22-24 Nov. 2017). Analysis of emergency room service using fuzzy process mining technique. 2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Jyoti, B., & Sharma, A. K. (2020, 27-28 Feb. 2020). A Perspective View of Mining Rules with Ant Colony Optimization Technique:Ant-miner. 2020 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN),



- Kapila, D. (2017). Performance Analysis of Enhanced Fuzzy Association Rule Mining Algorithm with Levenstein Distance Using Contact Lens Dataset! *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(4).
- Kapila, D., & Bajaj, M. H. E FAR-HD: ENHANCED FUZZY ASSOCIATION RULE MINING USING JARO-WINKLER DISTANCE FOR HIGH DIMENSIONAL DATASETS.
- Kingsley, O., Tawil, A. H., Naeem, U., Islam, S., & Lamine, E. (2016, 5-8 Dec. 2016). Using semantic-based approach to manage perspectives of process mining: Application on improving learning process domain data. 2016 IEEE International Conference on Big Data (Big Data),
- Kitchenham, B., Pretorius, R., Budgen, D., Brereton, O. P., Turner, M., Niazi, M., & Linkman, S. (2010). Systematic literature reviews in software engineering—a tertiary study. *Information and Software Technology*, 52(8), 792-805.
- Koosawad, K., Saguansakdiyotin, N., Palangsantikul, P., Porouhan, P., & Premchaiswadi, W. (2018, 21-23 Nov. 2018). Improving Sales Process of an Automotive Company with Fuzzy Miner Techniques. 2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Li, G., & Carvalho, R. M. d. (2019). Process Mining in Social Media: Applying Object-Centric Behavioral Constraint Models. *IEEE Access*, 7, 84360-84373. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2925105>
- Li, S. N., Yang, Z., & Tessone, C. J. (2020, 2-6 May 2020). Mining blocks in a row: A statistical study of fairness in Bitcoin mining. 2020 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC),
- Li, T., He, T., Wang, Z., Zhang, Y., & Chu, D. (2017). Unraveling process evolution by handling concept drifts in process mining. 2017 IEEE International Conference on Services Computing (SCC),
- Li, W., Bai, Q., & Zhang, M. (2019). SIMiner: A Stigmergy-Based Model for Mining Influential Nodes in Dynamic Social Networks. *IEEE Transactions on Big Data*, 5(2), 223-237. <https://doi.org/10.1109/TBDATA.2018.2824826>
- Li, W., Fan, Y., Liu, W., Xin, M., Wang, H., & Jin, Q. (2019). A Self-Adaptive Process Mining Algorithm Based on Information Entropy to Deal With Uncertain Data. *IEEE Access*, 7, 131681-131691. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939565>
- Mahendrawathi, E., Arsad, N., Astuti, H. M., Kusumawardani, R. P., & Utami, R. A. (2018). Analysis of production planning in a global manufacturing company with process mining. *Journal of Enterprise Information Management*.



- Matsuyama, Y. (2021). Divergence Family Contribution to Data Evaluation in Blockchain Via Alpha-EM and Log-EM Algorithms. *IEEE Access*, 9, 24546-24559. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056710>
- Meengoen, P., Porouhan, P., Kungcharoen, K., Palangsantikul, P., Arpasat, P., & Premchaiswadi, W. (2020, 18-20 Nov. 2020). Analysis of Materials and Supplies Withdrawal Process in Educational Institutions with Fuzzy Miner Technique. 2020 18th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Meinheim, A., dos Santos Garcia, C., Nievola, J. C., & Scalabrin, E. E. (2017). Combining Process Mining with Trace Clustering: Manufacturing Shop Floor Process-An Applied Case. 2017 IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI),
- Nafasa, P., Waspada, I., Bahtiar, N., & Wibowo, A. (2019, 29-30 Oct. 2019). Implementation of Alpha Miner Algorithm in Process Mining Application Development for Online Learning Activities Based on MOODLE Event Log Data. 2019 3rd International Conference on Informatics and Computational Sciences (ICICoS),
- Nosouhi, M. R., Qu, Y., Yu, S., Xiang, Y., & Manuel, D. (2017, 22-24 Nov. 2017). Distance-based location privacy protection in social networks. 2017 27th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC),
- Nurlaili, A. L., & Sarno, R. (2017, 19-21 Sept. 2017). A Combination of the evolutionary tree miner and simulated annealing. 2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI),
- Obregon, J., Song, M., & Jung, J. (2019). InfoFlow: Mining Information Flow Based on User Community in Social Networking Services. *IEEE Access*, 7, 48024-48036. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906081>
- Osman, C.-C., & Ghiran, A.-M. (2019). When industry 4.0 meets process mining. *Procedia Computer Science*, 159, 2130-2136.
- Porouhan, P., Jongsawat, N., & Premchaiswadi, W. (2014, 18-21 Nov. 2014). Process and deviation exploration through Alpha-algorithm and Heuristic miner techniques. 2014 Twelfth International Conference on ICT and Knowledge Engineering,
- Porouhan, P., & Premchaiswadi, W. (2017). Process Mining and Learners' Behavior Analytics in a Collaborative and Web-Based Multi-Tabletop Environment. *International Journal of Online Pedagogy and Course Design (IJOPCD)*, 7(3), 29-53.



- Porouhan, P., & Premchaiswadi, W. (2018, 21-23 Nov. 2018). Behavioral Performance Evaluation and Emotion Analytics of a MOOC Course via Fuzzy Modeling. 2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Porouhan, P., & Premchaiswadi, W. (2019, 20-22 Nov. 2019). Using Social Network Mining for Speech Behavior Analysis of Couples Sitting on a Sofa: (A Semantic Comparison between Happy and Unhappy Relationships). 2019 17th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Premchaiswadi, W., & Porouhan, P. (2015, 18-20 Nov. 2015). Process simulation and pattern discovery through alpha and heuristic algorithms. 2015 13th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering 2015),
- Premchaiswadi, W., Porouhan, P., & Premchaiswadi, N. (2018, 23-27 July 2018). Process Modeling, Behavior Analytics and Group Performance Assessment of e-Learning Logs Via Fuzzy Miner Algorithm. 2018 IEEE 42nd Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC),
- Rahmawati, D., Yaqin, M. A., & Sarno, R. (2016, 12-12 Oct. 2016). Fraud detection on event logs of goods and services procurement business process using Heuristics Miner algorithm. 2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS),
- Reza, K. J., Islam, M. Z., & Estivill-Castro, V. (2017, 24-26 Nov. 2017). Social media users' privacy against malicious data miners. 2017 12th International Conference on Intelligent Systems and Knowledge Engineering (ISKE),
- Rismanchian, F., & Lee, Y. H. (2017). Process mining–based method of designing and optimizing the layouts of emergency departments in hospitals. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 10(4), 105-120.
- Rogiers, A., Merchie, E., & Van Keer, H. (2020). Opening the Black Box of Students' Text-Learning Processes: A Process Mining Perspective. *Frontline Learning Research*, 8(3), 40-62.
- Rojas, E., Fernández-Llatas, C., Traver, V., Muñoz-Gama, J., Sepúlveda, M., Herskovic, V., & Capurro, D. (2017). PALIA-ER: Bringing Question-Driven Process Mining Closer to the Emergency Room. BPM (Demos),
- Sakchaikun, J., Tumswadi, S., Palangsantikul, P., Porouhan, P., & Premchaiswadi, W. (2018, 21-23 Nov. 2018). IT Help Desk Service Workflow Relationship with Process Mining. 2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),



- Satitcharoenmuang, C., Porouhan, P., Nammakhunt, A., Saguansakiyotin, N., & Premchaiswadi, W. (2017, 22-24 Nov. 2017). Benchmarking efficiency of children's garment production process using alpha and ILP replayer techniques. 2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Sirijaitam, P., Porouhan, P., Palangsantikul, P., & Premchaiswadi, W. (2017, 22-24 Nov. 2017). Improving efficiency of OTT systems using fuzzy mining technique. 2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Smedt, J. D., Deeva, G., & Weerd, J. D. (2020). Mining Behavioral Sequence Constraints for Classification. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 32(6), 1130-1142. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2019.2897311>
- Soaita, A. M., Serin, B., & Preece, J. (2020). A methodological quest for systematic literature mapping. *International Journal of Housing Policy*, 20(3), 320-343.
- Starov, O., Zhou, Y., & Wang, J. (2019, 19-23 May 2019). Detecting Malicious Campaigns in Obfuscated JavaScript with Scalable Behavioral Analysis. 2019 IEEE Security and Privacy Workshops (SPW),
- Stuart, R., & Norvig, P. (2010). Artificial intelligence: A modern approach 3rd Edition. *Upper Saddle River, New Jersey*.
- Sun, X., Tan, Y., Wu, Q., Chen, B., & Shen, C. (2019). TM-Miner: TFS-Based Algorithm for Mining Temporal Motifs in Large Temporal Network. *IEEE Access*, 7, 49778-49789. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2911181>
- Sundari, M. S., & Nayak, R. K. (2020). Process Mining in Healthcare Systems: A Critical Review and its Future. *International Journal*, 8(9).
- Theis, J., Galanter, W., Boyd, A., & Darabi, H. (2021). Improving the In-Hospital Mortality Prediction of Diabetes ICU Patients Using a Process Mining/Deep Learning Architecture. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 1-1. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2021.3092969>
- Tibeme, B., Shahriar, H., & Zhang, C. (2018, 19-22 April 2018). Process Mining Algorithms for Clinical Workflow Analysis. SoutheastCon 2018,
- Toyawanit, T., & Premchaiswadi, W. (2016, 23-25 Nov. 2016). Applying inductive Visual Miner technique to analyze and detect problems in procedures of a hospital in Thailand. 2016 14th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE),
- Van Der Aalst, W. M., Reijers, H. A., Weijters, A. J., van Dongen, B. F., De Medeiros, A. A., Song, M., & Verbeek, H. (2007). Business process mining: An industrial application. *Information systems*, 32(5), 713-732.



- Wardhani, K. D. K., & Yunanto, W. (2017). Heuristics miner for e-commerce visitor access pattern representation. *Communications in Science and Technology*, 2(1).
- Yahiatene, Y., & Rachedi, A. (2018, 29-31 Oct. 2018). Towards a Blockchain and Software-Defined Vehicular Networks Approaches to Secure Vehicular Social Network. 2018 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN),
- Yamaguchi, S., Terada, T., Manaskasemsak, B., Rungsawang, A., & Leelaprute, P. (2017, 12-14 June 2017). Tour Miner: Mining system of tour plans from SNS: — Smelting function from travel records to tour routes —. 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-TW),
- Yang, S., Zhou, M., Chen, S., Dong, X., Ahmed, O., Burd, R. S., & Marsic, I. (2017). Medical workflow modeling using alignment-guided state-splitting HMM. 2017 IEEE International Conference on Healthcare Informatics (ICHI),
- Yao, H., Mai, T., Wang, J., Ji, Z., Jiang, C., & Qian, Y. (2019). Resource trading in blockchain-based industrial Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(6), 3602-3609.
- Zhang, Y., Zhao, L., Shi, J., Peng, S., Guan, Y., & Shang, J. (2020, 17-19 Dec. 2020). A Review of Routing Protocols for Wireless Body Area Networks for Miner Safety. 2020 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCLOUD/SocialCom/SustainCom),

