

Tipo de artículo: Artículo de revisión
Temática: Ingeniería y gestión de software
Recibido: 20/09/19 | Aceptado: 04/01/2020 | Publicado: 06/01/2020

Factores críticos y consideraciones para la aplicación de la minería de procesos en la Mejora de Procesos de Software. Una revisión sistemática

Critical factors and limitations for the application of process mining in Software Process Improvement. A systematic review

Ronny Perez Díaz^{1*}, Hean Carlos Jiménez Lugo², Ana Marys Garcia Rodríguez³, Alejandro Perdomo Vergara⁴

¹ Departamento de Informática. Facultad 3. Universidad de Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, Torrens, Boyeros. La Habana. Cuba. rpdi@estudiantes.uci.cu

² Departamento de Informática. Facultad 3. Universidad de Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, Torrens, Boyeros. La Habana. Cuba. hjimenez@estudiantes.uci.cu

³ Departamento de Informática. Facultad 3. Universidad de Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, Torrens, Boyeros. La Habana. Cuba. agarcia@uci.cu

⁴ Departamento de Informática. Facultad 3. Universidad de Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, Torrens, Boyeros. La Habana. Cuba. apvergara@uci.cu

* Autor para correspondencia: rpdi@estudiantes.uci.cu

Resumen

En los últimos años directivos e investigadores de la industria del software han mostrado interés por el desarrollo y evolución de la Mejora de Procesos de Software. La utilización de sistemas de información en las organizaciones se ha generalizado en todas las esferas de negocio incluyendo la industria del software, donde se genera información relevante a ser considerada para la mejora continua del proceso de desarrollo del software. Estos sistemas de información son capaces de almacenar datos y trazas de ejecución de los procesos de negocios; por un lado, se obtiene un material impregnado en conocimientos estratégicos para la evolución del negocio, pero por otra parte se crea un universo de datos, cuyo análisis se complejiza con la aplicación de técnicas y herramientas clásicas de procesamiento. Si bien la Mejora de Procesos de Software tiene como objetivo elevar el rendimiento y la efectividad de los procesos, la minería de procesos se centra en diagnosticar la ejecución de estos a fin de identificar posibles mejoras, sobre la base del análisis de trazas generadas en la ejecución de los sistemas de información. La presente investigación tiene

como objetivo realizar una revisión sistemática de los factores críticos y las consideraciones la cual permitirá establecer una guía para la aplicación de la minería de procesos en la Mejora de Procesos de Software.

Palabras clave: factores críticos, consideraciones, minería de procesos, Mejora de Procesos de Software, revisión sistemática

Abstract

Now a day, developers and researchers in the software industry have shown interest in the development and evolution of software processes improvement. The use of information systems in organizations has become widespread in all spheres of business including the software industry, where relevant information is generated to be considered for continuous improvement of the software development process. These information systems are capable of storing data and traces of the execution of business processes; on the one hand, one obtains material impregnated with strategic knowledge for the evolution of the business, but on the other hand a universe of data is created, the analysis of which is complex with the application of classic processing techniques and tools. Today, disciplines such as process mining have emerged that, with their techniques and tools, are capable of processing all this data and stored in the event logs. Even so, there are critical factors for the application of process mining in a generic way and specific for the improvement of software processes. While Software Process Improvement aims to increase the performance and effectiveness of processes, process mining focuses on diagnosing the execution of these processes in order to identify possible improvements, based on the analysis of traces generated in the execution of information systems. The objective of this research is to carry out a systematic review of the critical factors and considerations which will allow establishing a guide for the application of process mining in Software Process Improvement.

Keywords: critical factors, considerations, process mining, Software Process Improvement, systematic review.

Introducción

En las últimas dos décadas la industria del software ha evolucionado y se ha fortalecido a tal punto que representa actualmente una de las actividades económicas de mayor importancia a escala internacional. A partir de principios de los años noventa la comunidad de Ingeniería del Software, ha manifestado especial interés en la Mejora de Procesos Software (MPS). Esto se evidencia en el creciente número de investigaciones que abordan la MPS, así como en el

surgimiento de un cuantioso número de iniciativas internacionales entre las que se encuentran: CMMI, ISO/IEC 15504, ISO/IEC 25000: 2005 (Pino et al. 2006; Norambuena and Zepeda 2017). El uso de sistemas de información, los cuales almacenan los datos de la ejecución de los proyectos en registros de eventos que contienen las trazas de ejecución y los datos históricos, dentro de la industria del software ha propiciado el surgimiento de una materia prima fundamental para los procesos de mejora continua de los software (Halkidi et al. 2011; Norambuena and Zepeda 2017). En la labor de procesar estos universos de datos generados por los sistemas de información surgen disciplinas como la minería de procesos la cual aunque relativamente joven y ubicada entre la inteligencia computacional y la minería de datos promete grandes expectativas en este área del conocimiento (van der Aalst 2016). Esta disciplina permite modelar y analizar los procesos para apoyar a las organizaciones en la tarea de enfrentar el desafío de una mejor gestión de sus procesos. Para ello permite realizar el descubrimiento de procesos, verificar conformidad de los modelos reales obtenidos respecto a un modelo ideal y proponer mejoras para los procesos. Además, se especializa en extraer conocimiento a partir de la información almacenada en registros de eventos ubicados en los sistemas de información. La minería de procesos aplicada a la ingeniería de software busca en una primera instancia, resolver el problema del monitoreo, control y mejora de los procesos de desarrollo (Muñoz et al. 2014; Samalikova et al. 2014; García Mireles 2016; Mayorga 2016; Miramontes et al. 2016). Uno de los principios de calidad refleja que una mejora en la calidad del proceso de desarrollo debe generar productos de mejor calidad. Esto refuerza la utilidad que tiene el aplicar técnicas de minería de procesos en este campo, pues eventualmente permitiría desarrollar software de mejor calidad (Trujillo-Casañola et al. 2013; Trujillo Casañola et al. 2014). El presente trabajo está encaminado a realizar una revisión teórica de la aplicación de la minería de procesos en la MPS, donde se define los factores críticos y consideraciones de la minería de procesos para su aplicación en la MPS.

Materiales y métodos

Entre los **métodos científicos** utilizados para el desarrollo del presente trabajo destacan los siguientes:

Métodos teóricos:

- El método **histórico-lógico** y el **dialéctico** para el análisis de investigaciones y resultados documentados de la aplicación de la minería de procesos en la ingeniería de software y otras organizaciones.
- El **analítico-sintético** utilizado para descomponer la problemática en elementos que permitan su profundización con el fin de sintetizarlos en líneas de investigaciones futuras.

Métodos empíricos:

- El **análisis documental** para la revisión de la literatura con el objetivo de extraer la información necesaria sobre el desarrollo y aplicación de la minería de procesos en la industria del software, así como sus principales factores críticos y consideraciones para su aplicación en la MPS.

En la presente investigación, siguiendo las fases de Kitchenham (Kitchenham 2004) para la revisión sistemática, se ejecutaron los siguientes pasos:

Fase 1: Planificación de la revisión.

- Identificación de la necesidad de la revisión.
- Desarrollo del protocolo de revisión.

Fase 2: Ejecución de la revisión.

- Identificación de la investigación.
- Selección de estudios primarios.
- Evaluación de la calidad del estudio.

Fase 3: Publicación de los resultados de la revisión.

Desarrollo

La revisión se desarrolló siguiendo las fases anteriormente mencionadas, con el objetivo de revisar los factores críticos y consideraciones para la aplicación de la minería de procesos en la MPS.

Desarrollo del protocolo de revisión.

Planificación de la revisión

Identificación de la necesidad de la revisión.

1. Formulación de la pregunta

1.1. Enfoque de la pregunta: identificar los factores críticos de la minería de procesos y consideraciones de su aplicación en la MPS.

1.2. Calidad de la pregunta y amplitud:

- Problema: el proceso de desarrollo de software emplea actualmente sistemas de información que generan universos de datos de grandes dimensiones, viéndose obstaculizado su uso en función de valorar el comportamiento de los procesos como un elemento relevante para la MPS.
- Pregunta: ¿cuáles son los factores críticos de la minería de procesos y las consideraciones que se deben tener para su aplicación en la MPS?
- Palabras claves y sinónimos:

- Caso de estudio: caso real;
 - Consideraciones: respetos;
 - Factores críticos: rasgos importantes, temas determinantes.
 - Minería de procesos: ingeniería de procesos, análisis de procesos
 - Mejora de Procesos de Software: mejora continua.
 - Registros de eventos: grabación secuencial, evidencias de comportamientos, registros históricos, logs.
- Intervención: Revisión y análisis de los factores críticos y las consideraciones que inciden en la aplicación de la minería de procesos en la MPS.
 - Efecto: Identificación de los factores críticos y las consideraciones de la minería de procesos en su aplicación en la MPS.
 - Medición del resultado: factores y consideraciones identificados.
 - Población:
 - Publicaciones sobre aplicación de la minería de procesos en la industria del software.
 - Publicaciones sobre aplicación de la minería de procesos en la MPS en entornos reales.
 - Publicaciones sobre la ejecución de la minería de procesos.
 - Casos de estudio sobre la aplicación de la minería de procesos en la industria del software.
 - Casos de estudio sobre la aplicación de la minería de procesos en la MPS.
 - Aplicación: proceso de desarrollo de software.

2. Selección de las fuentes

2.1. Definición de los criterios de selección de fuentes:

- Disponibilidad para consultar artículos en la web.
- Presencia de mecanismos de búsqueda mediante palabras clave y editoriales sugeridas por expertos.

2.2. Lenguajes de los estudios: español, inglés.

2.3. Identificación de fuentes:

- Métodos de búsqueda de fuentes: investigación a través de buscadores web.
- Lista de fuentes:
 - Springer
 - Memorias de eventos, conferencias y simposios internacionales
 - IEEE

- ACM
- Scielo
- Repositorios institucionales de universidades

3. Selección de estudios

3.1. Definición de estudios:

- Definición de criterios de inclusión y exclusión de estudios: los estudios deben reflejar las experiencias de la aplicación de la minería de procesos en la ingeniería de software con énfasis en la MPS. Esta investigación no seleccionará estudios que no aporten características esenciales de la minería de procesos de forma genérica.
- Definición de tipos de estudio: todos los tipos de estudio relacionados con el tema de investigación serán seleccionados.
- Procedimiento para la selección de estudios: los mecanismos de búsqueda deben ejecutarse sobre las fuentes seleccionadas. Para seleccionar un conjunto inicial de estudios, el resumen de todos los estudios obtenidos es analizado y evaluado de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión. Para refinar este conjunto inicial de estudios, es analizado el texto completo de los estudios.

Ejecución de la revisión:

- **Identificación de la investigación.**

Para mejorar el proceso de desarrollo de software se hace necesario diagnosticar y analizar los registros de datos generados por los sistemas de información, por lo cual se requiere identificar los factores críticos y consideraciones para una adecuada aplicación de la minería de proceso en la MPS.

- **Selección de estudios primarios.**

Después de aplicar el procedimiento para la obtención de estudios primarios mediante el análisis en profundidad y exhaustivo de los mismos, se obtuvieron inicialmente 182 estudios, de ellos se seleccionaron 32 estudios, según los criterios de inclusión y exclusión (15 en inglés y el resto en español).

- **Evaluación de la calidad del estudio.**

Se procedió al análisis de la calidad de los estudios primarios, donde se pudo constatar que:

1. Todas las investigaciones abordan la temática de la minería de procesos o sus esferas más específicas. Se observa que esta disciplina tiene como características la generalidad de su aplicación en otras organizaciones y ambientes de negocios.
2. Las fechas de publicación de los estudios oscilan entre el 2006 y la actualidad, lo cual permite evaluar la evolución de la aplicación de la minería de procesos, sobre todo en la industria del software, así como su respaldo teórico en diferentes espacios de tiempo.
3. A escala internacional el estudio de la minería de procesos en la industria del software por países y regiones es disperso. Aunque los mayores aportes se centran en la Universidad de Tecnológica de Eindhoven en Irlanda del Norte y otras universidades de europeas y del hemisferio occidental (SILVA OSSES 2017).
4. La mayoría de las investigaciones dedicadas a la minería de procesos y a su aplicación en la ingeniería de software, se basan en los estudios del Profesor Dr. W.M.P (Wil) Van der Aalst, del departamento de matemáticas y ciencias computacionales de la Universidad Tecnológica de Eindhoven.
5. Los estudios han sido publicados en bases de datos confiables. La mayoría provienen de universidades, proyectos reales de desarrollo de software, normas internacionales y otras organizaciones que han obtenido resultados tangibles publicados en repositorios institucionales, revistas científicas, foros, conferencias, seminarios y otros eventos dedicados a este tema.

- **Extracción y monitoreo de los datos.**

Una vez seleccionados los estudios primarios se realizó la extracción de la información relevante.

Discusión

1. Minería de procesos y su aplicación a la MPS.

En el análisis a la bibliografía se observó que existen dos dimensiones principales de aplicación: en el proceso y en el producto. En la tabla 2 se observan los detalles de las posibles aplicaciones.

Tabla 2: Aplicaciones de la minería de procesos a la ingeniería de software (Norambuena and Zepeda 2017).

Dimensiones	Aplicaciones	Descripción	Ejemplo
Proceso	Evaluación y mejora de	Enfoque tradicional de la	Encontrar discrepancias

	procesos	minería de procesos en los procesos de desarrollo de software.	entre el modelo real y el modelo formal.
	Apoyo al proceso	Aplicación de técnicas de minería de procesos para apoyar el desarrollo de una actividad del proceso de desarrollo de software.	Usar el descubrimiento de procesos para complementar la elicitación de requisitos.
Producto	Sobre el producto	Aplicación de las técnicas de minería de procesos sobre los productos mismos.	Usar minería de procesos para determinar el comportamiento de los usuarios.

Deficiencias como la falta de procesos bien definidos y formalizados, se encuentran presentes en múltiples organizaciones de la industria del software y en particular en las pequeñas y medianas empresas de desarrollo de software. El modelado del proceso les permite a las organizaciones guiar las actividades para su mejora. La aplicación de la minería de procesos, específicamente la tarea de descubrimiento de procesos, puede ser de utilidad para las organizaciones que se enfrenten a este desafío (Norambuena and Zepeda 2017; Augusto et al. 2018).

2. Factores críticos de la minería de procesos.

2.1 Factores críticos genéricos en la aplicación de la minería de procesos en organizaciones:

La revisión de la bibliografía entorno a la minería de procesos permitió la obtención de los factores críticos que se deben tener en cuenta para su aplicación en un contexto organizacional genérico. A continuación, se exponen los factores identificados:

FC1. Los proyectos de minería de procesos deben tener un impacto sobre los indicadores estratégicos del negocio (Lazarte et al. 2016).

Esto es determinante para el establecimiento de los objetivos y preguntas a resolver con el proyecto de minería de procesos (Halkidi, Spinellis, Tsatsaronis and Vazirgiannis 2011; Norambuena and Zepeda 2017).

Aproximadamente el 90 % de los estudios de minería de procesos consultados definen que los artículos de minería de procesos, sean de su estudio o aplicación reflejan de alguna manera la importancia de este factor.

FC2. Analizar la calidad del flujo del proceso a través de su modelación, para aplicar posteriormente las técnicas de minería de procesos.

La modelación del proceso idealizado provee las actividades, eventos y decisiones del proceso, así como el flujo de datos y documentos (Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst et al. 2011; Norambuena and Zepeda 2017).

FC3. Evaluar los objetivos y preguntas de proyectos de minería de procesos para la localización y selección de los datos a extraer en la etapa de preparación de los datos.

El análisis del proceso debe estar orientado a responder las preguntas y a encontrar hallazgos que contribuyan con el mejoramiento de los indicadores de gestión del proceso asociados a los objetivos del proyecto (Halkidi, et al. 2011; Norambuena and Zepeda 2017; Pérez-Alfonso et al. 2018).

FC4. Analizar la calidad de los datos (limpiar los datos), para mejorarla calidad de los resultados de la minería de procesos.

Herramientas de ayuda para llevar a cabo este análisis y limpieza es la estadísticas la que permitirá la identificación de los casos con datos atípicos e involucrar al personal de la organización para decidir sobre su inclusión o eliminación (Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst 2011; van der Aalst 2016; Norambuena and Zepeda 2017).

FC5. Seleccionar las técnicas y algoritmos para el análisis con minería de procesos, considerando los objetivos del proyecto y a las preguntas que se quiera resolver.

Los hallazgos del análisis del proceso se deben priorizar para profundizar en los problemas que tengan relación con estos objetivos (Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst 2011; Trujillo Casañola, et al. 2014; van der Aalst 2016; Norambuena and Zepeda 2017).

FC6. Involucrar al personal de la organización, tanto a nivel gerencial como operativo, para la determinación y evaluación de las alternativas de mejora.

Involucrar al personal operativo en esta etapa facilita la implantación de las alternativas al disminuir la resistencia al cambio (Halkidi, et al. 2011; Trujillo-CasañolaI, et al. 2013; Trujillo Casañola, et al. 2014; Norambuena and Zepeda 2017).

2.2 Consideraciones a tener en cuenta a partir de los factores críticos definidos para la aplicación de la minería de procesos en la MPS:

Teniendo en cuenta los factores críticos asociados a la minería de procesos se identificó, a partir del análisis de la literatura, un conjunto de consideraciones para la aplicación de la minería de procesos en la MPS. Estas consideraciones se listan a continuación:

1. Cantidades de datos almacenados.

La inmensa cantidad de datos que se generan hoy en día como una salida o producto secundario del proceso de desarrollo de software, permite aplicar técnicas de análisis de datos y utilizar los resultados para guiar la optimización de los distintos procesos que se ejecutan (Norambuena and Zepeda 2017).

2. Uso de formas de análisis clásicas.

El análisis de procesos de forma clásica y la aplicación de acciones de corrección y de mejoras de procesos, se basan en modelos obtenidos mediante entrevistas y documentación, con técnicas muy básicas y poco fiables (García et al. 2016). Entender dónde se producen las desviaciones propias de los modelos, analizar y comprender sus causas e impactos, permite mejorar sus procesos teniendo en cuenta la realidad. También es importante destacar que, en muchas organizaciones, los procesos de desarrollo de software suelen ser complejos y en algunos casos no se encuentran modelados explícitamente. Para este tipo de situaciones, el uso de la minería de procesos puede ser una solución muy efectiva (Halkidi, et al. 2011; Norambuena and Zepeda 2017).

3. Generalidad de su aplicación en las organizaciones.

La amplia aplicabilidad de la minería de procesos en la ingeniería de software se debe al carácter genérico de sus técnicas. Estas pueden ser aplicadas a cualquier tipo de proceso, siempre que los datos se ajusten al modelo deseado. Para ello se deben cumplir los requerimientos siguientes (Halkidi, et al. 2011):

- Los registros de eventos deben contener datos de la ejecución de los procesos (Norambuena and Zepeda 2017).
- Cada proceso se compone de actividades y tiene asociada una serie de instancias de proceso (Norambuena and Zepeda 2017).
- Cada instancia de proceso se compone de uno o más eventos (Norambuena and Zepeda 2017). Estos eventos deben indicar la actividad a la que corresponden, deben tener una descripción, un tiempo de ejecución y un responsable. Es posible enriquecer el registro de eventos con más información según se tenga disponibilidad (Mayorga and García 2015; Garcia Rodríguez et al. 2018).

4. Auditoría de procesos de desarrollo.

Aunque la aplicación de las auditorías de procesos requiere como punto de partida procedimientos manuales, la minería de procesos puede agregar valor a la auditoría y se espera que con el avance de las tecnologías los auditores de procesos las asimilen adecuadamente. (Halkidi, et al. 2011; García Rodríguez et al. 2016; Norambuena and Zepeda 2017).

5. Apoyo en el proceso de ingeniería de requisitos.

La minería de procesos se puede utilizar para controlar que se esté siguiendo el proceso de ingeniería de requisitos adecuadamente, así como para verificar que los modelos propuestos por los ingenieros de desarrollo concuerden con instancias reales de los procesos que ejecutará el software (Halkidi, et al. 2011; Norambuena and Zepeda 2017).

6. Conocimiento de los procesos.

- Algunos sistemas de información de las empresas son agnósticos a los procesos de negocio, debido a que en varios casos son soluciones temporales que deben permitir un alto grado de flexibilidad. En otros casos las acciones ejecutadas por el sistema se guardan en algún archivo de registro, pero aun así no se identifican el proceso o la instancia del proceso a la cual corresponde (Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst 2011; Van Der Aalst, et al. 2011; Mayorga and García 2015; Norambuena and Zepeda 2017).
- El problema de aplicar minería de procesos a registros de eventos generados por sistemas agnósticos, es uno de los principales desafíos a los que se enfrenta la minería de procesos a la hora de aplicarse en el mundo empresarial. Algunos de los problemas que ocurren durante la adquisición de datos pueden ser solucionados mediante la definición y uso de estándares, tales como u OpenXES, ambos basados en XML (Van Der Aalst 2011; van der Aalst 2015).
- Si una organización no tiene una infraestructura adecuada que se conozca todos sus procesos, no puede beneficiarse de la minería de procesos aplicando cualquiera de las técnicas existentes. En el caso de los sistemas agnósticos al proceso, puede que sus registros de eventos no tengan suficiente información para aplicar algoritmos de minería de procesos. En algunos casos puede ocurrir lo contrario, en que la cantidad de detalles es demasiado alta y la complejidad del modelo resultante lo hace poco práctico, pues todo buen modelo debe mantener un balance entre precisión con respecto a la representación de la realidad y simplicidad computacional (Van Der Aalst 2011; van der Aalst 2015; García, et al. 2016; van der Aalst 2016).

7. Calidad de los datos.

- Si la calidad de los datos recolectados y almacenados no es adecuada, entonces la calidad de los resultados de la aplicación de la minería de procesos no será satisfactoria. Mediante la preparación cuidadosa de los datos se puede llegar a conjuntos de datos útiles, a pesar de que originalmente no fueran datos almacenados con el propósito de aplicar minería de procesos. Aun así, la eficiencia y efectividad de la minería de procesos puede verse beneficiada sustancialmente por conjuntos de datos bien estructurados y definidos, además de las guías de recolección que permitan obtener conjuntos de datos de alta calidad (De Medeiros and Weijters 2005; Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst 2011; Van Der Aalst, et al. 2011; Mayorga and García 2015; González Escobosa 2016; van der Aalst 2016; Norambuena and Zepeda 2017).
- Otro de los problemas en los conjuntos de datos es la existencia de ruido. Este puede ocurrir algunas veces debido a la existencia de procesos que no son los esperados, que constituyen actividades cuya ocurrencia no está prevista. La integridad y calidad de los datos es un factor muy importante en la calidad de los resultados por lo que se vuelve aún más importante de conjunto con las necesidades naturales de las técnicas de minería de procesos (Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst 2011; Van Der Aalst, et al. 2011; Trujillo-Casañola, et al. 2013; Norambuena and Zepeda 2017).

8. Integración con las herramientas.

- No recolectar y analizar de manera sistemática los datos, genera ineficiencias a la hora de aplicar los distintos tipos de minería de procesos. Esto es debido a la naturaleza de los procesos de software, ya que en la MPS el proceso y el producto deben ser continuamente medidos. No obstante, la recolección de datos manual requiere de un esfuerzo adicional por parte de los desarrolladores, y el análisis de todos estos datos toma aún más tiempo y esfuerzo (Halkidi, et al. 2011; Van Der Aalst 2011; Norambuena and Zepeda 2017).

9. Evaluación de resultados obtenidos.

- Otro problema corresponde a la evaluación del proceso obtenido, cuando el resultado no es comprensible, para ello se hace necesario definir un procedimiento estándar y riguroso para evaluar la calidad de la salida generada por el algoritmo de minería de procesos (van der Aalst 2016). Es posible medir la calidad del modelo mediante las discrepancias con los registros de eventos originales y el modelo obtenido (Halkidi, et al. 2011; Norambuena and Zepeda 2017).

- La búsqueda de la parametrización óptima puede ser un trabajo complejo debido a la cantidad de parámetros disponibles en determinado negocio. La no parametrización de los algoritmos genera fuertes inconvenientes en la implementación de las técnicas de minería de proceso. (van der Aalst 2016).

10. Usabilidad de la minería de procesos.

- Para la aplicación de la minería de procesos se requiere personal cualificado o experto en el tema. De esta manera la usabilidad se ve limitada para usuarios sin experticia en la minería de procesos y se requiere de la integración de otras herramientas y técnicas que puedan traducir los resultados de la aplicación de la minería de procesos (Van Der Aalst, et al. 2011). Un ejemplo claro es provisto por las herramientas de simulación, que pueden complementar el diagnóstico de procesos y el análisis mediante la evaluación de implementaciones alternativas (Mayorga and García 2015; González Escobosa 2016).
- En general, el proyecto de rediseño de un proceso requiere más de un único instrumento para alcanzar los resultados deseados. Si bien la minería de procesos provee herramientas para el diagnóstico y análisis de procesos, estas deben ser complementadas mediante otras metodologías, tales como la simulación u otros enfoques que permitan entender y planificar el proceso de rediseño adecuadamente (Aguirre et al., 2012; Van der Aalst et al., 2011; Van der Aalst, 2016).

Conclusiones

- La minería de procesos apoya a las organizaciones en la tarea de gestionar mejor sus procesos, permitiendo el descubrimiento de procesos, verificar conformidad de los modelos reales obtenidos con respecto a un modelo ideal, y proponer mejoras para los procesos de negocio. Por sus potencialidades puede ser aplicable al proceso de mejora de software porque persiguen objetivos comunes.
- En el análisis de la literatura permitió identificar estudios que aplican la minería de procesos en la ingeniería de software, pero en los estudios analizados ninguno lo hace en beneficio directo a la Mejora de Procesos de Software.
- La revisión sistemática desarrollada fue exhaustiva y en profundidad, abordando diferentes regiones en el transcurso de los años lo cual contribuyó al análisis de la aplicabilidad de la minería de procesos de forma genérica y en la ingeniería de Software, destacándose el nivel de confiabilidad de las fuentes.
- Los factores críticos y consideraciones identificadas en el contexto de la investigación constituyen aproximaciones que, con un tratamiento adecuado, pudieran ser claves para la aplicación exitosa de la minería de procesos en la Mejora de Procesos de Software.

Trabajo futuro

Como trabajo futuro se plantea la necesidad de aplicar las herramientas y técnicas de minería de procesos a la MPS, teniendo en consideración los factores críticos y limitantes identificados en la presente investigación.

Referencias

- AUGUSTO, A., R. CONFORTI, M. DUMAS, M. LA ROSA, et al. Automated discovery of process models from event logs: Review and benchmark 2018, 31(4), 686-705.
- DE MEDEIROS, A. A. AND A. WEIJTERS. Genetic process mining. In *Applications and Theory of Petri Nets 2005, Volume 3536 of Lecture Notes in Computer Science*. Citeseer, 2005.
- GARCÍA, A., D. PÉREZ ALFONSO AND V. ESTRADA SENTÍ Revisión de los principales modelos para aplicar técnicas de Minería de Procesos (Review of models for applying process mining techniques). *GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología*, 2016, 4(1).
- GARCÍA MIRELES, G. A. Environmental sustainability in software process improvement: A systematic mapping study. In *International Conference on Software Process Improvement*. Springer, 2016, p. 69-78.
- GARCIA RODRÍGUEZ, A. M., Y. MILANÉS ZAMORA, Y. TRUJILLO CASAÑOLA, J. P. FEBLES RODRÍGUEZ, et al. Asociación entre Buenas Prácticas y Factores Críticos para el éxito en la MPS. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 2018, 12(2), 89-103.
- GARCÍA RODRÍGUEZ, A. M., Y. TRUJILLO CASAÑOLA AND A. PERDOMO VERGARA Optimización de estados en la mejora de procesos de software. *Enl@ce: Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, 2016, 13(2), 9-27.
- GONZÁLEZ ESCOBOSA, C. M. Minería de procesos: en ambientes sensorizados. 2016.
- HALKIDI, M., D. SPINELLIS, G. TSATSARONIS AND M. J. I. D. A. VAZIRGIANNIS Data mining in software engineering 2011, 15(3), 413-441.
- KITCHENHAM, B. Procedures for performing systematic reviews. Keele, UK, Keele University, 2004, 33(2004), 1-26.
- LAZARTE, I., C. A. ACOSTA PARRA AND G. D. VILALLONGA. Mejora y gestión de procesos de negocio inter-organizacionales aplicando técnicas de minería de procesos. In *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2016, Entre Ríos, Argentina)*. 2016.

- MAYORGA, H. S. A. *Minería de procesos: Fundamentos y metodología de aplicación*. Edtion ed.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2016. ISBN 9587810236.
- MAYORGA, H. S. A. AND N. R. J. C. D. A. GARCÍA *Minería de procesos: desarrollo, aplicaciones y factores críticos* 2015, 28(50), 137-157.
- MIRAMONTES, J., M. MUÑOZ, J. A. CALVO-MANZANO AND B. J. R.-R. I. D. S. E. T. D. I. CORONA *Establecimiento del estado del arte sobre el aligeramiento de procesos de software* 2016, (17), 16-25.
- MUÑOZ, M., G. GASCA AND C. J. R.-R. I. D. S. E. T. D. I. VALTIERRA *Caracterizando las necesidades de las pymes para implementar mejoras de procesos software: Una comparativa entre la teoría y la realidad* 2014, (SPE1), 1-15.
- NORAMBUENA, B. K. AND V. V. J. R.-R. I. D. S. E. T. D. I. ZEPEDA *Minería de procesos de software: una revisión de experiencias de aplicación* 2017, (21), 51-66.
- PÉREZ-ALFONSO, D., R. YZQUIERDO-HERRERA, E. PUPO-HERNÁNDEZ AND A. J. I. I. ORELLANA-GARCÍA *Minería de proceso para la comprensión del proceso en la etapa de diagnóstico* 2018, 39(2), 146-159.
- PINO, F. J., F. GARCÍA AND M. J. R. R. E. D. I. PIATTINI, *CALIDAD E INGENIERÍA DEL SOFTWARE* *Revisión sistemática de mejora de procesos software en micro, pequeñas y medianas empresas* 2006, 2(1), 6-23.
- SAMALIKOVA, J., R. J. KUSTERS, J. J. TRIENEKENS, A. J. J. O. S. E. WEIJTERS, et al. *Process mining support for Capability Maturity Model Integration-based software process assessment, in principle and in practice* 2014, 26(7), 714-728.
- SILVA OSSES, A. T. *METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE PROCESOS DE NEGOCIO BASADA EN MINERÍA DE PROCESOS Y DE DATOS* 2017.
- TRUJILLO-CASAÑOLAI, Y., A. FEBLES-ESTRADA, G. LEÓN-RODRÍGUEZ AND Y. B. J. C. D. L. I. RODRÍGUEZ *La gestión de información y los factores críticos de éxito en la mejora de procesos* 2013, 44(3), 27-33.
- TRUJILLO CASAÑOLA, Y., A. FEBLES ESTRADA, G. LEÓN RODRÍGUEZ, Y. BETANCOURT RODRIGUEZ, et al. *Diagnóstico al iniciar la mejora de proceso de software. Ingeniería Industrial*, 2014, 35(2), 172-183.
- VAN DER AALST, W. *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*. Edtion ed.: Springer, 2011.
- VAN DER AALST, W. *How to get started with process mining?* In., 2016.
- VAN DER AALST, W., A. ADRIANSYAH, A. K. A. DE MEDEIROS, F. ARCIERI, et al. *Process mining manifesto*. In *International Conference on Business Process Management*. Springer, 2011, p. 169-194.

VAN DER AALST, W. M. Extracting event data from databases to unleash process mining. In *BPM-Driving innovation in a digital world*. Springer, 2015, p. 105-128.