

Tipo de artículo: Artículo de revisión
Temática: Inteligencia Artificial
Recibido: 21/01/2018 | Aceptado: 16/03/2018

Otra revisión crítica de la minería de procesos, apuntando a los flujos de procesos hospitalarios.

Critical review of process mining, targeting hospital process flows.

Arturo Orellana García*

Centro de Informática Médica. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.

*Autor para correspondencia: aorellana@uci.cu

Resumen

La minería de procesos se encarga de generar conocimiento y descubrir procesos a partir de los registros de eventos extraídos que se encuentran en los sistemas de información, en función de diagnosticar, evaluar y mejorar su rendimiento y comportamiento. El presente trabajo se centra en realizar una revisión de las investigaciones publicadas sobre esta alternativa para el análisis de procesos de negocio, acotando el estudio hacia el sector hospitalario, área poco explorada por los investigadores de la disciplina. Se aplicaron varios métodos científicos como análisis documental, histórico-lógico y análisis-síntesis. La búsqueda de información se centró en tres bases de datos generales: "Web of Science", "PubMed" y "Google Scholar". Fueron identificadas 32 investigaciones de interés, en el caso de "PubMed" 17 y en "Google Scholar" más de 60. Se consultaron además, 59 casos de estudio en el repositorio de la Universidad de Eindhoven en Holanda. La recopilación de elementos que se mostrarán en esta investigación constituye un punto de partida para futuras investigaciones y proyectos de desarrollo de minería de procesos aplicados al entorno hospitalario. Tributa al análisis de casos de estudio que pueden ser aplicados en entornos reales de aplicación sobre Sistemas de Información Hospitalaria.

Palabras clave: análisis de procesos, minería de procesos, sector sanitario, revisión bibliográfica.

Abstract

Process mining is responsible for generating knowledge and discovering processes based on the extracted records of events found in information systems, for diagnosing, evaluating and improving their performance and behavior. This paper focuses on carrying out a review of the published research on this alternative for the analysis of business

processes, targeting the hospital sector, an area that has been little explored by the researchers of the discipline. Several scientific methods were applied such as documentary, historical-logical analysis and analysis-synthesis. The search for information was focused on three general databases: "Web of Science", "PubMed" and "Google Scholar". 32 relevant researches were identified, in the case of "PubMed" 17 were found, and in "Google Scholar" more than 60. 59 cases of study were also consulted in the repository of the University of Eindhoven in the Netherlands. The collection of elements shown in this research constitutes a starting point for future research and development projects of process mining applied to the hospital environment. It is a contribution to the analysis of case studies that can be applied in real application environments on Hospital Information Systems.

Keywords: *process analysis, process mining, health sector, literature review.*

Introducción

La minería de procesos es una tecnología de impacto creciente en esferas como la industrial y la empresarial (van der Aalst, 2011; van der Aalst et al., 2012). Posibilita entender cómo son ejecutados en realidad los procesos en sistemas automatizados. Su aplicación ayuda a identificar cuellos de botella, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas, y simplificar procesos para la mejora del funcionamiento del negocio.

Aunque la aplicación de esta tecnología es reciente, las empresas, centros e instituciones a nivel mundial la están incorporando a sus aplicaciones con el objetivo de descubrir, monitorear y mejorar sus procesos de negocio (van der Aalst, 2012; De Weerd et al., 2013; van der Aalst, 2013a). De igual forma, se observa una vinculación a la mayoría de los sectores sociales, sin embargo, en la rama hospitalaria, que tiene una influencia alta en la calidad de vida de los ciudadanos, su aplicación se limita por lo general a casos de estudio (Rebuge, 2012; Mans et al., 2013; van der Aalst, 2013; Rojas et al., 2016).

El profesor Will van der Aalst precursor de la minería de procesos, en la entrevista: "*Could BPM and Process Mining Save US Healthcare 600 Billion Dollars?*" plantea que: "Tenemos un interés particular en la salud porque los procesos son mucho más caóticos que en otras industrias, y los ahorros potenciales son enormes (...) Esto ilustra que la asistencia sanitaria es un dominio de aplicación muy difícil, y por lo tanto interesante para BPM y la minería de procesos" (van der Aalst, 2013). En esta entrevista se afirma que es posible ahorrar 600 billones de dólares a la economía estadounidense si se aplica BPM (*Business Process Management*, por su nombre en inglés) y la minería de procesos en su sector sanitario.

Los sistemas desarrollados para automatizar la gestión de los diferentes procesos hospitalarios, proporcionan nuevas oportunidades de mejora en los métodos y técnicas asistenciales mediante la integración de tecnologías de información y médicas (Mans et al., 2008; Collen & Detmer, 2015). La Universidad de las Ciencias Informáticas de la Habana cuenta con un grupo de investigación de minería de procesos, entre sus aristas de investigación se encuentra la Informática en Salud. En este grupo se han realizado varias investigaciones con el objetivo de introducir la minería de procesos en los productos y servicios que se desarrollan para el sector hospitalario y apoyar la gestión de estas organizaciones (Orellana & Sánchez, 2014; Orellana, Larrea & Pérez-Alfonso, 2015; Orellana, Pérez-Alfonso, & Larrea, 2015; Orellana, Pérez, & Larrea, 2015; Orellana et al., 2016). La presente investigación constituye una revisión bibliográfica y tiene como objetivo poner en evidencia los principales resultados que ha tenido la minería de procesos en el sector de la salud a nivel internacional. Para ello la investigación se divide en dos secciones: los materiales y métodos aplicados para desarrollar la misma y una síntesis de los resultados obtenidos.

Materiales y métodos

Las trazas de ejecución de los procesos en sistemas automatizados, constituyen una valiosa fuente de información para el modelado y análisis del funcionamiento de los mismos. Una traza está compuesta por una secuencia de eventos ordenados según su ocurrencia y los eventos dentro de una traza pertenecen a la misma instancia de proceso (Pérez, 2014). Las técnicas de minería de procesos asumen que es posible registrar estos eventos secuencialmente tal que cada evento se refiera a una actividad (van der Aalst et al., 2012). La Figura 1 representa un fragmento de la información que contiene un registro de eventos.

Id del caso	Id del evento	Propiedades				
		Marca de tiempo	Actividad	Recurso	Ciclo de vida	...
1	21223	20-03-2014:11.09	Crear hoja clínica	Juan	Completado	...
	21224	22-03-2014:09.21	Realizar Consulta	Manuel	Completado	...
	21225	22-03-2014:12.10	Realizar Rayos X	Jorge	Completado	...
	21226	25-03-2014:10.16	Realizar Tomografía	Antonio	Completado	...
	21227	17-05-2014:08.33	Actualizar hoja clínica	Juan	Completado	...
2	21234	20-03-2014:14.12	Crear hoja clínica	Juan	Completado	...
	21235	24-05-2014:10.21	Solicitar hemodiálisis	María	Completado	...
	21236	06-06-2014:08.20	Actualizar hoja clínica	Juan	Iniciado	...
3	21251	22-03-2014:09.22	Solicitar insumos quirúrgicos	Carlos	Completado	...
	21252	14-04-2014:08.27	Ver detalles de solicitud	Pedro	Completado	...
	21253	14-04-2014:08.48	Modificar pedido	Pedro	Completado	...
	21254	14-04-2014:15.03	Aprobar Solicitud	Ronal	Completado	...
	21255	15-04-2014:09.01	Despachar insumos	Abel	Completado	...

Figura 1. Fragmento de la información de un registro de eventos. Fuente: elaboración propia.

El resultado del almacenamiento de las actividades de un proceso, ejecutadas en un período determinado de tiempo, se le denomina registro de eventos (van der Aalst et al., 2012); donde cada proceso está compuesto por casos, los cuales son instancias del mismo. Los casos contienen atributos o propiedades, además de estar compuestos por eventos que representan pasos bien definidos dentro del proceso (van der Aalst, 2011). Para diferenciar los casos y los eventos, a cada uno se le asigna un identificador, mientras que los atributos de cada evento ayudan a extender el modelo con información complementaria. Los registros de eventos son el punto de partida para la aplicación de técnicas de minería de procesos.

El concepto minería de procesos surgió hace menos de dos décadas (Agrawal, Gunopulos & Leymann, 1998). La disciplina de Minería de Procesos también tiene sus raíces en el trabajo de Cook y Wolf, quienes propusieron el descubrimiento de modelos de procesos a partir de los datos contenidos en los registros de eventos (Cook & Wolf, 1999). Desde entonces ha sido objeto de numerosas investigaciones y, por tanto, aplicada a la mayoría de las ramas de la sociedad: ingeniería, ciencias computacionales, educación, salud y el desarrollo de software.

Will van der Aalst define la minería de procesos como: “(...) *la disciplina de investigación que permite descubrir, monitorear y mejorar los procesos reales a través de la extracción de conocimiento de los registros de eventos ampliamente disponibles en los actuales sistemas de información (...)*” (Vossen, 2012).

Entre las perspectivas que incluyen la minería de procesos se destacan la referente al control de flujo, a los casos, al tiempo, organizacional, entre otras (van der Aalst, 2011). La perspectiva de control de flujo se enfoca en el orden de ejecución de las actividades, su objetivo es encontrar una caracterización de todos los caminos posibles. La perspectiva de casos se enfoca en caracterizar los casos por su ruta en los procesos, los actores que trabajan en él o el valor de los datos de sus elementos. La perspectiva tiempo puede ser aplicada cuando se tiene información con relación al tiempo en el registro de eventos, permitiendo integrar al modelo las marcas de tiempo.

Se realizó una revisión de las investigaciones de minería de procesos dirigidas al entorno hospitalario. Para ello la búsqueda se centró en tres bases de datos generales: "Web of Science", "PubMed" y "Google Scholar", utilizando las frases "minería de procesos", "process mining", "salud" y "healthcare". En la "Web of Science" fueron identificadas 32 investigaciones de interés, en el caso de "PubMed" 17 y en "Google Scholar" más de 60. Fueron identificados, además, un conjunto de 59 casos de estudio en el repositorio de la Universidad de Eindhoven en Holanda.

Los métodos científicos con mayor presencia en la investigación fueron:

- **Análisis de documentos:** en la consulta de la literatura especializada, con el objetivo de extraer la información necesaria para definir los escenarios donde fue aplicada la minería de procesos en la ejecución de procesos hospitalarios.
- **Histórico - Lógico:** permitió realizar un estudio crítico del comportamiento y evolución de las diferentes posiciones respecto a la minería de procesos y los análisis de procesos hospitalarios. Permitted la utilización de trabajos anteriores como puntos de referencia y comparación de los resultados alcanzados para seleccionar las técnicas más frecuentes en los análisis.

Resultados y discusión

Varios autores realizan análisis de control de flujo en actividades de procesos asistenciales (Mans et al., 2008; Lang et al., 2008; Bose & van der Aalst, 2011; Mans et al., 2012; Rebuge & Ferreira, 2012). También se destacan los análisis de rendimiento de los procesos (Mans et al., 2008; Mans et al., 2008a; Zhou, 2009; Bose & van der Aalst, 2011; Mans et al., 2012), y se centran en el análisis de conformidad (Zhou, 2009; Grando, van der Aalst & Mans, 2011; Kirchner et al., 2012; Grando, Schonenberg & van der Aalst, 2013) y desde la perspectiva organizacional de minería de procesos (Mans et al., 2008; Bose & van der Aalst, 2011; Mans et al., 2012; Kim et al., 2013).

Las herramientas más utilizadas han sido ProM (31 de los casos de estudio), Disco (8 de los casos de estudio) y RapidProM (1 caso de estudio). Fueron identificadas metodologías basadas en el agrupamiento de actividades de procesos (Bozkaya, Gabriels & van der Werf, 2009; Rebuge & Ferreira, 2012; Caron, Vanthienen & Baesens, 2013), basadas en el modelo de Ciclo de vida L* (Binder et al., 2012; Partington et al., 2015) y metodologías *Had-Hoc* (Caron et al., 2014; Cho, Song & Yoo, 2014).

Dumas et al. (2005), Rebuge & Ferreira (2012) y Kaymak et al. (2012) especifican la existencia de 2 tipos de procesos hospitalarios: asistenciales y organizacionales (soporte). Los procesos asistenciales son los responsables de la gestión del paciente, incluyen las actividades desde el diagnóstico, transitando por las acciones de tratamiento de enfermedades, hasta que concluye el proceso. Los procesos de soporte u organizativos se centran en la captura de información de los profesionales y las unidades organizativas, incluyendo las tareas de asignación y la gestión de los recursos.

El 67 % de las investigaciones analizadas, incluyendo los casos de estudio, realizan análisis de tiempos de ejecución de las actividades, identificación de cuellos de botella, sincronización de actividades y detección de desviaciones en el

flujo de los procesos. Además, obtienen una vista de la ejecución global del proceso y diferentes variantes de ejecución de un mismo proceso.

A partir del análisis realizado fue posible identificar las áreas hospitalarias de mayor interés en los casos de estudio. La Figura 2 resume 17 especialidades de la salud y la cantidad de casos de estudios involucrados en cada uno. Las áreas más destacadas son Oncología (8), Cirugía (8), Emergencias (5), Atención ambulatoria (5) y Radioterapia (5), este análisis demuestra el carácter multidisciplinario de la minería de procesos en este sector social.

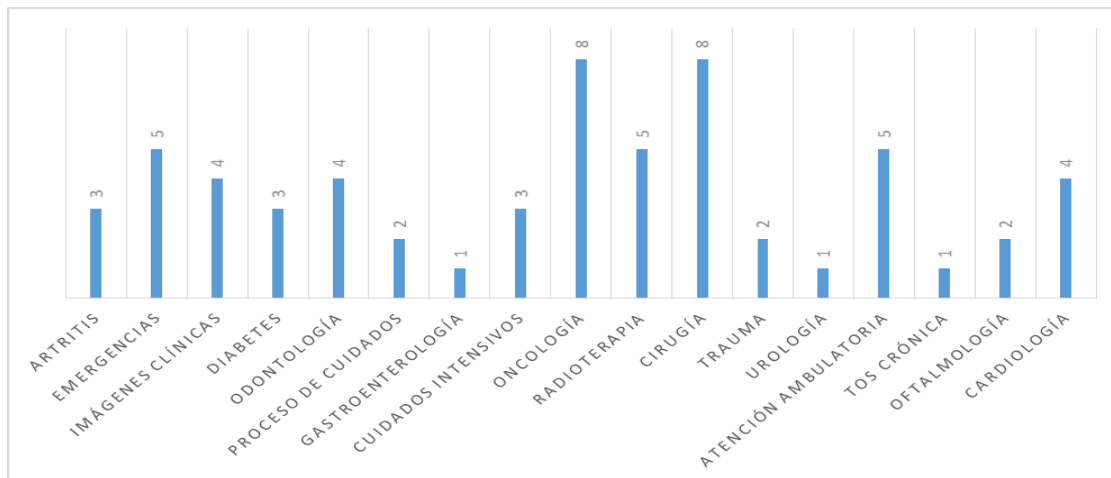


Figura 2. Investigaciones de minería de procesos por áreas hospitalarias. Fuente: elaboración propia.

Algunos de los estudios definen o especifican sus propios pasos para aplicar minería de procesos (Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Caron et al., 2014; Cho, Song & Yoo, 2014; Micio et al., 2015; Fernandez-Llatas et al., 2015). Ninguno es dirigido a un dominio específico de aplicación; pueden ser utilizadas en cualquier sector además de la salud. El desarrollo de metodologías, procedimientos y modelos para aplicar minería de procesos en la salud serían deseables, incluso para áreas específicas del entorno sanitario (Rojas et al., 2016).

Se evidencia la aplicación de la minería de procesos a partir de la información contenida en Sistemas de Información Hospitalaria HIS (Kelleher et al., 2014; Antonelli & Bruno, 2015; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015; Rovani et al., 2015; Forsberg, Rosipko & Sunshine, 2016). En 18 de los casos de estudio se plantean dos desafíos con respecto a los HIS: la extracción de los datos para generar registros de eventos y la necesidad de entender las herramientas, técnicas y algoritmos disponibles para realizar los análisis.

Existen casos en que la extracción de registros de eventos se realiza a partir de desarrollos a la medida en los HIS (Caron et al., 2014). Esto facilita el proceso de obtener el registro de eventos a partir de consultas a las fuentes de datos, sin embargo, continúa la necesidad de conocer las técnicas de minería de procesos para su correcta aplicación.

En cuatro casos se conectan las fuentes de datos, se extraen los registros de eventos y se aplican técnicas de minería de procesos, funcionando de manera integrada (Quaglini, 2008; Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Kumar et al., 2014; Fernandez-Llatas et al., 2015). Esta forma de análisis tiene la ventaja de que no requiere conocimientos para la extracción de registro de eventos, además de las herramientas y técnicas de minería de procesos. Sin embargo, no se evidencia la integración de los elementos necesarios para realizar minería de procesos desde un HIS.

Las regiones geográficas más destacadas en las investigaciones son Europa (más del 68 %), Norte América, Asia y Australia, no así en América Latina y África. Los países de mayor aporte en Europa son Holanda, Alemania y Bélgica; por Asia se destaca China. La aplicación de la minería de procesos en otras esferas demuestra su efectividad para detectar funcionamientos anómalos, como la desviación de recursos, el exceso en el tiempo de estancia de un producto en un almacén o su ausencia, así como, las variaciones entre la realidad y lo que debe ser (van der Aalst et al., 2007; Yzquierdo, 2013; Jans, Alles & Vasarhelyi, 2013; Accorsi, Stocker & Müller, 2013; van Dongen & Shabani, 2015).

Los análisis de procesos en instituciones sanitarias, han sido orientados a la frecuencia de ejecución, detección de fraudes, análisis de tiempo, detección de desviaciones, identificación de cuellos de botella, desviación típica, varianza, entre otros (Hernández et al., 2010; Marinov et al., 2011; Hernández et al., 2014; Sharma & Mansotra, 2014). Desde la minería de procesos estos análisis se evidencian en Dunkl et al. (2011), Rebuge (2012), Bouarfa & Dankelman (2012), Suriadi et al. (2014), Montani et al. (2013), Rebuge et al. (2013), Rovani et al. (2015) y Mans, van der Aalst & Vanwersch (2015).

Para la presente investigación, los elementos descritos anteriormente se proponen como criterios para la selección de técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad en procesos hospitalarios. La decisión es apoyada a partir de los análisis que se realizan en la práctica clínica. En las investigaciones realizadas se evidencia como estos criterios son abordados desde la minería de procesos para obtener conocimientos de la ejecución de los procesos hospitalarios.

Las técnicas más utilizadas para el análisis de procesos hospitalarios son *Heuristics Miner*, identificada en 19 investigaciones para análisis de control de flujo y obtener una vista global del proceso (Fei et al., 2008; Lang et al., 2008; Zhou, 2009; Kaymak et al., 2012; Montani et al., 2013; kim et al., 2013; Suriadi et al., 2014; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015; Fernandez-Llatas et al., 2015). Y La técnica *Fuzzy Miner*, utilizada en al menos 15

investigaciones para el agrupamiento (*clustering*) de actividades, tratamiento del ruido y de excepciones y los análisis de frecuencia de ejecución (Gunther et al., 2008; Mans et al., 2008; Zhou, 2009; Bose & van der Aalst, 2011; Kirchner et al., 2012; Kim et al., 2013; Montani et al., 2014; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015).

Son utilizadas además las técnicas *Trace Clustering* (Gunther et al., 2008; Caron et al., 2014; Delias et al., 2015), *Performance* (Mans et al., 2008; Zhou, 2009; Montani et al., 2013; Partington et al., 2015), *Alpha Miner* (Riemers, 2009; Zhou, Wang & Li, 2014), *Dotted Charts* (Staal, 2010; Mans et al., 2012), *Genetic Miner* (Lang et al., 2008; Fei et al., 2008), *Inductive Miner* (Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015) y otros (Meneu et al., 2013; Partington et al., 2015; Rattanavayakorn & Premchaiswadi, 2015; Forsberg, Rosipko & Sunshine, 2016). En la Tabla 1 se presenta la correspondencia de los análisis de procesos hospitalarios con las investigaciones de minería de procesos.

Tabla 1. Investigaciones de minería de procesos que aplican o proponen los criterios para el análisis de procesos hospitalarios.
 Fuente: elaboración propia.

Criterios	Investigaciones de minería de procesos				
	Mans, 2011	Aalst, 2011	Rebuge, 2012	Mans, 2015	Rojas, 2016
Análisis de frecuencia	X	X	X	X	X
Análisis de subprocesos	X		X	X	
Detección de desviaciones	X	X	X	X	X
Detección de fraudes	X	X		X	
Análisis de tiempo	X	X	X	X	X
Cuellos de botella	X		X	X	X
Vista global del proceso	X	X	X	X	X

En la presente investigación se incluye además dos nuevos criterios a tener en cuenta: la comprensión de los modelos y el uso de los valores por defecto de los parámetros de configuración de las técnicas de minería de procesos, orientados a la usabilidad de las mismas por usuarios del dominio sanitario. La evaluación de los dos criterios se basó en una encuesta desarrollada por Claes & Poels (2013) en la plataforma LinkedIn, la cual solicitó a usuarios y expertos de la minería de procesos identificar cuáles son las técnicas que más utilizan para realizar análisis de procesos. Los resultados se resumen en la figura 3, destacándose entre las más de 800 existentes, las técnicas *Heuristics Miner*, *Fuzzy Miner* y los análisis de tiempo con *Dotted Chart Analyzer*.

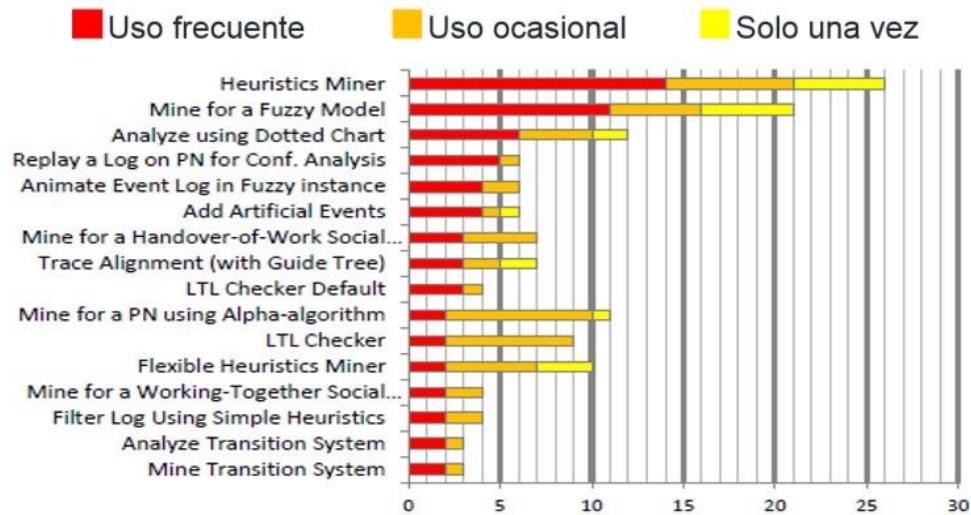


Figura 3. Técnicas de minería de procesos más usadas según usuarios y expertos. Fuente: (claes & poels, 2013).

Así mismo, se les solicitó a los encuestados que indicaran cuáles técnicas según su experiencia, son intuitivas, fáciles de entender, confiables, rápidas y si los valores predeterminados se pueden utilizar garantizando un buen resultado. La figura 4 indica que los encuestados favorecen a las técnicas *Alpha*, los análisis de tiempo a partir de *Dotted Chart*, *Fuzzy Miner*, *Heuristics Miner* y *Replay e log on Petri Net for Conformance Analysis*.

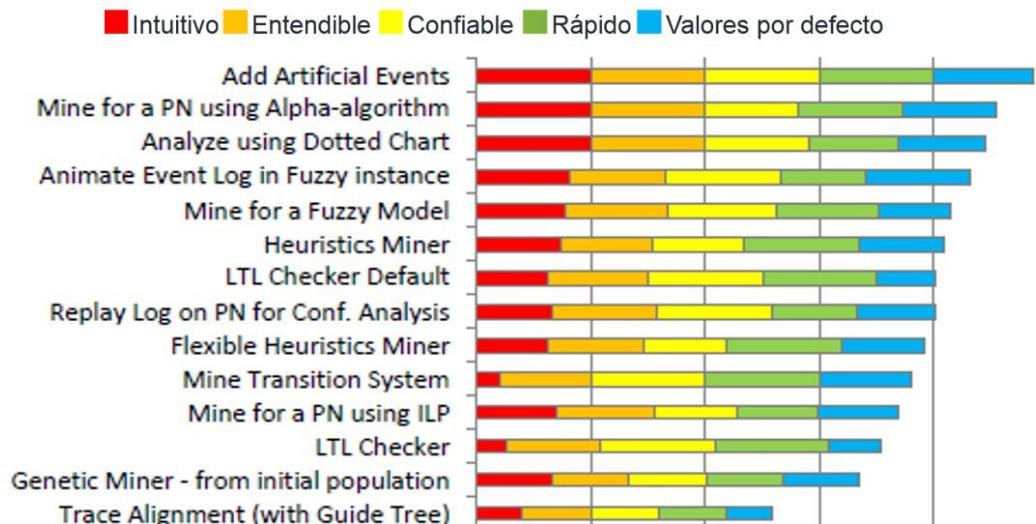


Figura 4. Técnicas de minería de procesos de mayor comprensión según usuarios y expertos. Fuente: (claes & poels, 2013).

La técnica *Inductive visual Miner* (IvM) es desarrollada en 2014 (Leemans, Fahland & van der Aalst, 2014); actualmente es considerada una de las más usadas en las investigaciones de minería de procesos (Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015). Genera modelos de procesos animados en una notación inspirada en la BPMN, lo cual contribuye a mejorar el entendimiento de los mismos por parte de los usuarios ajenos a la Minería de procesos. Estos modelos permiten apreciar con mayor facilidad la formación de cuellos de botella y las desviaciones de los procesos que se modelan, además de las actividades frecuentes e infrecuentes que los componen.

La Minería de Variantes (*Variants Miner*) es desarrollada en 2014 y posee un enfoque diferente al de otras técnicas de minería de procesos, al proponer varias descomposiciones alternativas para el mismo subproceso, utilizando diferentes operadores de control de flujo. Esto permite controlar el impacto estructural del ruido y la ausencia de información en la construcción de las alternativas. Las alternativas se construyen al descartar o considerar comportamientos poco frecuentes que están contenidos en el registro de eventos. También en dicha construcción se asumen comportamientos ausentes del registro (Pérez, 2015). Debido a las características de los procesos hospitalarios, en cuanto a las variaciones que poseen, esta técnica se considera interesante por su capacidad de mostrar las diversas variantes alternativas de la ejecución de un proceso.

La técnica *Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance* (en lo adelante “*Replay P/C*”) es una técnica de chequeo de rendimiento y conformidad que contribuye a identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos. Está directamente relacionada con el análisis temporal y clasifica las actividades según su desviación con respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones (Adriansyah, 2012). Entre sus características se encuentra: extraer información de tiempo, detectar problemas, detectar cuellos de botella y generar modelos integrados mostrando información de los tiempos de ejecución, estadía, espera y desviación típica (Adriansyah & van der Aalst 2012).

La Tabla 2 muestra cinco técnicas seleccionadas a partir de los análisis anteriores y evaluadas por los criterios definidos anteriormente.

Tabla 2. Técnicas de minería de procesos evaluadas por los criterios más frecuentes para el análisis de procesos hospitalarios.
 Fuente: elaboración propia

Criterios	Técnicas de minería de procesos				
	Heuristics Miner	Fuzzy Miner	Inductive visual M.	Variants Miner	Replay P/C
Análisis de frecuencia	X	X	X	X	
Análisis de subprocesos	X	X	X	X	

Detección de desviaciones	X	X	X		
Detección de fraudes		X	X		
Análisis de tiempo		X	X	X	X
Cuellos de botella			X		X
Vista global del proceso	X		X	X	X
Comprensión	X	X	X	X	X
Valores por defecto	X	X	X	X	X

Según sus características *Heuristics Miner* es útil para obtener una vista global del proceso. Por su parte *Fuzzy Miner* permite obtener una vista de la frecuencia de ejecución de las actividades de procesos, así como la detección de desviaciones. *Inductive visual Miner* es una de las técnicas más recientes, sin embargo, es utilizada frecuentemente en análisis de tiempo y es considerada por los expertos como una de las más intuitivas. *Variants Miner*, por su parte permite realizar análisis de las variantes alternativas del proceso, además es posible incorporarle análisis basados en tiempo, lo cual enriquece el modelo que se obtenga. *Replay P/C* es útil para identificar cuellos de botella y realizar análisis de rendimiento. Todas las técnicas son multicriterios lo que propicia realizar análisis desde diferentes perspectivas.

Modelos para guiar los proyectos de minería de procesos

En la literatura consultada destacan cuatro modelos propuestos y un caso de estudio dentro del campo de la minería de procesos. Estos definen una serie de pasos para preparar el registro de eventos y aplicar las técnicas para el modelado y análisis.

El modelo de Rozinat se desarrolla con el objetivo de extraer información clave (de los datos, el rendimiento y la organización). Esta información puede ser usada para la creación de un modelo de simulación, y permite visualizar las dependencias entre las técnicas de minería de procesos a utilizar. Cuenta con seis fases que guían los proyectos de investigación. Como elementos particulares de este modelo se destacan el análisis de puntos de decisión (Fase 3) a partir de la perspectiva de datos, el análisis de rendimiento (Fase 4) y el descubrimiento de roles (Fase 5) con minería organizacional (Rozinat et al., 2009).

El Modelo de Bozkaya se desarrolla con el objetivo de ofrecer una visión general de los procesos dentro de los sistemas de información actuales en un corto período de tiempo. Está compuesto por seis fases entre las que se destacan la inspección del registro de eventos (fase 2), el análisis del flujo de actividades (fase 3) y mostrar los resultados al cliente (fase 6). La fase 6 propone tratar los resultados directamente con el jefe de la organización, quien

determina cuáles fueron los comportamientos deseados y no deseados en el sistema. Luego utiliza todo este conocimiento para rediseñar su sistema de información y hacerlo más eficiente y competitivo (Bozkaya, 2009).

El modelo de van Giessel está dirigido a la aplicación de la minería de procesos en un sistema SAP¹. Está compuesto por dos fases fundamentales y cinco pasos. En la fase 1 se determina cuáles tablas son relevantes a través de los objetos de negocio. Se establece un enlace entre los objetos de negocio y el proceso de negocio, mediante componentes de la aplicación. Esta fase está parcialmente automatizada por la herramienta Table Finder (van Giessel, 2004).

En la segunda fase se recupera el flujo del documento. Primeramente se localizan los datos de las tablas y se extraen. La recuperación se realiza mediante la agrupación de todos los datos que tienen el mismo número de documento o que están relacionados unos con otros. Cuando todos los datos relacionados se agrupan, se recupera el flujo de documentos que al final se exporta en un archivo XML. Una vez terminadas estas dos fases se procede a aplicar técnicas de minería de procesos. Van Giessel propone la aplicación de las herramientas EMiT y Little Thumb para generar los modelos de procesos, la primera centrada en el tiempo y la segunda en el ruido.

El modelo L* hace una descripción del ciclo de vida (L*) propuesto por van der Aalst para un proyecto de minería de procesos. Está compuesto por cinco etapas, entre las que se destaca planificar y justificar (Etapa 0), crear un modelo de proceso integrado (Etapa 3). Esta etapa propone extender el modelo de procesos incorporándole nuevas perspectivas (organizacional, tiempo casos y otras). Una etapa de relevancia es apoyo a las operaciones (Etapa 4), esta etapa cumple con los objetivos de la minería de procesos, que son las actividades de apoyo operativo: detectar, predecir y recomendar; se debe tener en cuenta que esta es la forma más ambiciosa de la minería de procesos. Para poder alcanzar las etapas 3 y 4 es necesario tener un proceso suficientemente estable y estructurado (van der Aalst, 2011).

El Caso de estudio de Jans no se encuentra estandarizado como modelo, pero constituye un ejemplo para guiar una investigación de minería de procesos. Está constituido por tres pasos y cuatro tareas. Se destaca la caracterización del proceso (Paso 1), donde plantea la necesidad de realizar un análisis exhaustivo del proceso, en el que se recogen todos los datos relevantes y se crea un mapa de dicho proceso. Este mapa consta de cuatro componentes: objetivos del proceso, actividades, flujos de información y contabilidad del impacto. La tarea cuatro del paso tres propone realizar un análisis de redes sociales entre los empleados que participan en el proceso, con el objetivo de comprender mejor la interacción entre las funciones y actividades para las transacciones anómalas (Jans, 2011).

¹ Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de datos.

Valoración de los modelos para guiar los proyectos de minería de procesos

La tabla 3 muestra un resumen de las principales características deseadas para el análisis de procesos hospitalarios utilizando los modelos descritos anteriormente. La selección de las características se basó en un conjunto de publicaciones sobre la aplicación de los modelos en casos de estudio y análisis de procesos (Dumas et al., 2005; Bozkaya et al., 2009; van der Aalst, 2011; Kirchner et al., 2012; Binder et al., 2012; Rebuge, 2012; Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Cho, Song & Yoo, 2014; Micio et al., 2015; Fernández-Llatas et al., 2015; Partington et al., 2015; Rojas et al., 2016). En el caso de las características tres, siete y nueve constituyen requerimientos del contexto hospitalario, debido a que son orientadas a la aplicación de la minería de procesos por usuarios no expertos. La característica 12 es incorporada por el autor de la investigación debido a la importancia de evaluar el impacto de la aplicación de los modelos en las instituciones hospitalarias.

Tabla 3. Criterios de comparación de los modelos para aplicar minería de procesos. Fuente: (Orellana, 2016)

Características	Jans	Giessel	Rozinat	Bozkaya	L*
1					X
2			X	X	X
3					
4				X	X
5			X	X	X
6				X	X
7		X		X	X
8		X			
9			X	X	
10		X	X	X	X
11	X	X	X	X	X
12					X
13					X
14		X			

Los modelos no se enfocan en el uso de técnicas específicas, sino que permiten aplicar una gran variedad de estas, lo cual dificulta la realización de análisis para los no expertos si se considera que existen más de 600 técnicas desarrolladas. Todos los modelos permiten realizar análisis desde una perspectiva organizacional, lo que supone una ventaja para los administrativos, sin embargo, no especifican cómo hacerlo. Son modelos elaborados para proyectos de minería genéricos, lo cual obvia particularidades de los procesos en el sector de la salud.

Solo la propuesta de van Giessel se centra en un dominio de aplicación y propone una herramienta para el análisis de los procesos, el resto no especifica herramientas tanto para extraer registros de eventos como para obtener modelos de

procesos. Un aspecto importante a destacar es que solo el modelo de van der Aalst permite retroalimentar los resultados, lo cual permite cerrar el ciclo del modelo y evaluar el impacto de los resultados.

En la bibliografía consultada se evidencian al menos 12 investigaciones que adaptan estos modelos o fases de los mismos para guiar sus estudios, entre ellas Lakshmanan, Rozsnyai & Wang (2013), Caron (2014), Cho, Song & Yoo (2014), Micio et al. (2015) y Fernández-Llatas et al. (2015). Rebuge (2012) y Rojas et al. (2016) coinciden en que la aplicación de un modelo u otro está condicionado por la experiencia en el empleo de las técnicas de minería de procesos. Esto limita el uso de la minería de procesos en su estado actual por profesionales de la gestión hospitalaria. A partir de los argumentos presentados, el autor de la investigación no recomienda los modelos anteriores para el análisis de los procesos hospitalarios, debido a las dificultades que poseen para su utilización por profesionales de este sector.

Conclusiones

La minería de procesos posee un enfoque actual, novedoso y pertinente para ser aplicado en el contexto de la salud, lo cual propiciará mejoras sustanciales en la gestión de los recursos, la planificación y el control en instituciones sanitarias.

Los retos consisten en extraer la información de las fuentes de datos hospitalarios e integrar las técnicas de minería de procesos en los sistemas de información de salud.

Se evidencia un alto uso de la minería de procesos en Europa y Asia, sin embargo, no se explotan sus potencialidades en América, lo que demuestra la necesidad de revertir esta situación en función de aumentar la eficiencia organizacional del sector hospitalario.

Los modelos, herramientas y tecnologías existentes en la literatura presentan insuficiencias y/o limitaciones para el análisis de procesos hospitalarios, desde sus profesionales.

Referencias

- ACCORSI, R., STOCKER, T., & MÜLLER, G. (2013). On the exploitation of process mining for security audits: the process discovery case. In Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, p. 1462-1468.

- ADRIANSYAH, A. (2012). Replay a Log on Petri Net for Performance/ Conformance Plug-in. Technische Universiteit Eindhoven.
- ADRIANSYAH, A. & VAN DER AALST, W.M.P. (2012) Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 2, no. 2, p. 182-192.
- AGRAWAL, R., GUNOPULOS, D. & LEYMANN, F. (1998). Process Mining Models from Workflow Logs, Sixth International Conference on Extending Database Technology, p. 469-483.
- ANTONELLI, D. & BRUNO, G. (2015). Application of process mining and semantic structuring towards a lean healthcare network, in: Risks and Resilience of Collaborative Networks, Springer, p.497-508.
- BINDER, M., DORDA, W., DUFTSCHMID, G., DUNKL, R., FROSCHL, K. A., GALL, W., GROSSMANN, W., HARMANKAYA, K., HRONSKY, M., RINDERLE-MA, S., RINNER, C. & S. WEBER. (2012). Analyzing process compliance in skin cancer treatment: An experience report from the evidence-based medical compliance cluster (EBMC2). Advanced Information Systems Engineering - 24th International Conference, CAiSE 2012. Proceedings, Vol. 7328 of Lecture Notes in Computer Science, p. 398–413.
- BOSE, R. P. J. C. & VAN DER AALST, W. M. P. (2011). Analysis of patient treatment procedures, in Business Process Management Workshops - BPM 2011 International Workshops, Vol. 99 of Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, p. 165–166.
- BOUARFA, L. & DANKELMAN, J. (2012) Workflow mining and outlier detection from clinical activity logs, Journal of Biomedical Informatics, Vol. 45 no. 6, p. 1185-1190.
- BOZKAYA, M., GABRIELS, J. & VAN DER WERF, J. M. (2009). Process Diagnostics: a Method Based on Process Mining. In The International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, Cancun, México.
- CARON, F., VAN THIENEN, J. & BAESSENS, B. (2013). Healthcare analytics: Examining the diagnosis–treatment cycle, Procedia Technology, Vol. 9, p. 996-1004.
- CARON, F., VAN THIENEN, J., VAN HAECHT, K., VAN LIMBERGEN, E., DEWEERDT, J., BAESSENS, B., ET AL. (2014). A process mining-based investigation of adverse events in care processes, Health Information Management Journal, Vol. 43 no. 1, p. 16-25.
- CHO, M., SONG, M. & YOO, S. (2014). A systematic methodology for outpatient process analysis based on process mining, in: Asia Pacific Business Process Management, Springer, p. 31-42.

- CLAES, J., & POELS, G. (2013). Process mining and the ProM framework: an exploratory survey. In Business Process Management Workshops. Springer Berlin Heidelberg, p. 187-198.
- COLLEN, M. F., & DETMER, D. E. (2015). Multi-Hospital Information Systems (MHISs). Springer London.
- COOK, J. E., & WOLF, A. L. (1999). Software process validation: quantitatively measuring the correspondence of a process to a model. ACM Transactions on Software Engineering and Methodology (TOSEM), Vol. 8 no. 2, p. 147-176.
- DELIAS, P., DOUMPOS, M., GRIGOROUDIS, E., MANOLITZAS, P. & MATSATSINIS, N. (2015). Supporting healthcare management decisions via robust clustering of event logs, Knowledge-Based Systems. Vol. 84 p. 203-213.
- DE WEERDT, J., SCHUPP, A., VANDERLOOCK, A., & BAESENS, B. (2013). Process mining for the multi-faceted analysis of business processes-A case study in a financial services organization. Computers in Industry, Vol. 64 no. 1, p. 57-67.
- DUMAS, M., VAN DER AALST, W. M. P. & TER HOFSTEDÉ, A. H. M. (2005). Process-Aware Information Systems: Bridging People and Software through Process Technology, Wiley.
- DUNKL, R., FROSCHL, K. A., GROSSMANN, W. & RINDERLE-MA, S. (2011). Assessing medical treatment compliance based on formal process modeling, in: Information Quality in e-Health - 7th Conference of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2011, Graz, Austria, p. 533-546.
- FERNÁNDEZ-LLATAS, C., LIZONDO, A., MONTON, E., BENEDI, J.M., TRAVER, V. (2015). Process mining methodology for health process tracking using real-time indoor location systems, Sensors, Vol. 15 no. 12 p. 29821–29840.
- FEI, H., MESKENS, N., ET AL. (2008). Discovering patients care process models from event logs. The 8th International Conference of Modeling and Simulation, MOSIM 2008, Vol. 10, p. 10-12.
- FORSBERG, D., ROSIPKO, B. & SUNSHINE, J. L. (2016). Analyzing PACS usage patterns by means of process mining: Steps toward a more detailed workflow analysis in radiology. Journal of digital imaging. Vol. 29 no. 1, p. 47–58
- GRANDO, M. A., VAN DER AALST, W. M. P. & MANS, R. (2011). Reusing a declarative specification to check the conformance of different cigs. Business Process Management Workshops - BPM 2011 International Workshops, Vol. 100 of Lecture Notes in Business Information Processing, pp. 188-199.

- GRANDO, M., SCHONENBERG, M. & VAN DER AALST, W. M. P. (2013). Semantic-based conformance checking of computer interpretable medical guidelines. *Biomedical Engineering Systems and Technologies*, pp. 285–300.
- GÜNTHER, C., ROZINAT, A., VAN DER AALST, W.M.P. & VAN UDEN. K. (2008) Monitoring deployed application usage with process mining, *PM Center Report BPM*, p.1-8.
- HERNÁNDEZ, A., MEDINA, A., NOGUEIRA, D., & MARQUÉS, M. (2010). El uso del case mix como un método de reducción de programas de producción hospitalaria y herramienta de apoyo a la gestión y mejora de procesos. Recuperado de <http://www.eumed.net/ce/2010a/nlrl.htm>
- HERNÁNDEZ, A., ET AL. (2014). La caracterización y clasificación de sistemas, un paso necesario en la gestión y mejora de procesos. Particularidades en organizaciones hospitalarias. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, vol. 81 no.184, p. 193-200.
- JANS, M. (2011). Process Mining of Event Logs in Internal Auditing: A Case Study. *The 2nd International Symposium on Accounting Information Systems*, Italy.
- JANS, M., ALLES, M., & VASARHELYI, M. (2013). The case for process mining in auditing: Sources of value added and areas of application. *International Journal of Accounting Information Systems*, Vol. 14 no. 1, p. 1-20.
- KAYMAK, U., MANS, R., VAN DE STEEG, T., DIERKS, M. (2012). Process mining in health care, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2012*, p. 1859-1864.
- KELLEHER, D. C., R. BOSE, J. C., WATERHOUSE, L. J., CARTER, E. A. & BURD, R. S. (2014). Effect of a checklist on advanced trauma life support workflow deviations during trauma resuscitations without pre-arrival notification. *Journal of the American College of Surgeons*, Vol. 218 no. 3, p. 459-466.
- KIRCHNER, K., HERZBERG, N., ROGGE-SOLTI, A. & M. WESKE. (2012). Embedding conformance checking in a process intelligence system in hospital environments. *Process Support and Knowledge Representation in Health Care - BPM 2012 Joint Workshop, ProHealth 2012/KR4HC 2012*, Vol. 7738 of *Lecture Notes in Computer Science*, p. 126-139.
- KIM, E., KIM, S., SONG, M., KIM, S., YOO, D., HWANG, H. & YOO, S. (2013). Discovery of outpatient care process of a tertiary university hospital using process mining, *Healthcare Informatics Research*, Vol. 19 no. 1, p. 42–49.

- KUMAR. V., PARK. H., BASOLE. R. C., BRAUNSTEIN. M., KAHNG. M., CHAU. D. H., TAMERSOY. A., HIRSH. D. A., SERBAN. N., BOS.T J., ET AL., (2014). Exploring clinical care processes using visual and data analytics: Challenges and opportunities, in: Knowledge Discovery and Data Mining (KDD): Workshop on Data Science for Social Good, p. 1–5.
- LAKSHMANAN, G. T., ROZSNYAI, S. & WANG, F. (2013). Investigating clinical care pathways correlated with outcomes, in: Business process management, Springer, p. 323-338
- LANG, M., BURKLE, T., LAUMANN, S. & H. PROKOSCH. (2008) Process mining for clinical workflows: Challenges and current limitations. eHealth Beyond the Horizon - Get IT There, Proceedings of MIE2008, The XXIst International Congress of the European Federation for Medical Informatics, G`oteborg, Sweden Vol. 136 of Studies in Health Technology and Informatics, IOS Press, p. 229-234.
- LEEMANS, S. J., FAHLAND, D., & VAN DER AALST, W. M. (2014). Process and Deviation Exploration with Inductive Visual Miner. In BPM (Demos), p. 46.
- MANS, R. S., SCHONENBERG, H., SONG, M., VAN DER AALST, W. M. P. & BAKKER. P. J. M. (2008). Application of process mining in healthcare - A case study in a dutch hospital, in Biomedical Engineering Systems and Technologies, International Joint Conference, BIOSTEC 2008, Funchal, Madeira, Portugal, January 28-31, 2008, Revised Selected Papers, Vol. 25 of Communications in Computer and Information Science, Springer, pp. 425–438.
- MANS, R., SCHONENBERG, H., LEONARDI, G., PANZARASA, S., CAVALLINI, A., QUAGLINI, S. & VAN DER AALST, W. M. P. (2008a). Process mining techniques: an application to stroke care. eHealth Beyond the Horizon - Get IT There, Proceedings of MIE2008, The XXIst International Congress of the European Federation for Medical Informatics, Vol. 136 of Studies in Health Technology and Informatics, IOS Press, p. 573–578.
- MANS, R., REIJERS, H. A., VAN GENUCHTEN, M., WISMEIJER, D. (2012) Mining processes in dentistry. ACM International Health Informatics Symposium, p. 379-388.
- MANS, R. S., VAN DER AALST, W. M., VANWERSCH, R. J., & MOLEMAN, A. J. (2013). Process mining in healthcare: Data challenges when answering frequently posed questions. In Process Support and Knowledge Representation in Health Care. Springer Berlin Heidelberg, p. 140-153.
- MANS, R., VAN DER AALST, W. M.P. & VANWERSCH, R. J. (2015). Process Mining in Healthcare: Evaluating and Exploiting Operational Healthcare Processes, Springer.

- MARINOV, M., MOSA, A.S.M., YOO, I. & BOREN, S. A. (2011). Data-mining technologies for diabetes: a systematic review, *Journal of Diabetes Science and Technology*, Vol. 5, no. 6, p. 1549-1556.
- MENEU, T., TRAVER, V., GUILLEN, S., VALDIVIESO, B., BENEDI, J. & FERNANDEZ-LLATAS, C. (2013). Heart cycle: Facilitating the deployment of advanced care processes, in: *Proceeding of the 35th Annual International Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, p. 6996-6999.
- MICIO, R., FONTANILI, F., MARQUES, G., BOMERT, P., LAURAS, M. (2015). Rtls-based process mining: Towards an automatic process diagnosis in healthcare, in: *Automation Science and Engineering (CASE), 2015 IEEE International Conference on, IEEE*, pp. 1397–1402.
- MONTANI, S., LEONARDI, G., QUAGLINI, S., CAVALLINI, A., MICIELI, G. (2013). Mining and retrieving medical processes to assess the quality of care. *Case-Based Reasoning Research and Development*. Springer, p. 233-240.
- ORELLANA, A., PÉREZ, D. & ESTRADA, V. (2016). Revisión de los principales modelos para aplicar técnicas de Minería de Procesos. *GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología*, Vol. 4 no. 1, pp.12-25.
- ORELLANA, A., & SÁNCHEZ, Y. (2014). Minería de Procesos en salud. Caso de Estudio: modelado de los procesos del área de Emergencia. In *Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity*.
- ORELLANA, A., LARREA O. U., & PÉREZ-ALFONSO, D. (2015). "Generador de Registros de Eventos para el análisis de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria xavia HIS." *Convención Salud 2015*.
- ORELLANA, A., PÉREZ-ALFONSO, D., & LARREA., O. U. (2015). Analysis of Hospital Processes with Process Mining Techniques. [ed.] Indra Neil Sharkar, Andrew Georgio y Paulo Mazzoncini de Azevedo. Sao Paulo: s.n., 2015. *MEDINFO 2015: EHealth-enabled Health: Proceedings of the 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics*. Vol. 216, pp. 310-314.
- ORELLANA, A., PÉREZ, Y.E. & LARREA, O.U., (2015). Process Mining in Healthcare: Analysis and Modeling of Processes in the Emergency Area. *Latin America Transactions, IEEE*, Vol. 13 no. 5, p.1612-1618.

- ORELLANA, A., LARREA, O.U, PÉREZ, Y.E., AND PÉREZ-ALFONSO, D. (2016). Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital Information System. *Latin America Transactions, IEEE*, Vol. 14 no. 4, pp.1930-1936.
- ORELLANA, A., SOSA, A., PEREIRAS, K. & PÉREZ-ALFONSO, D. (2016) Análisis de frecuencia de ejecución de procesos hospitalarios aplicando la técnica Fuzzy Miner de minería de procesos. In 14 LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2016) “Engineering Innovations for Global Sustainability”
- PARTINGTON, A., WYNN, M., SURIADI, S., OUYANG, C., KARNON, J. (2015). Process mining for clinical processes: A comparative analysis of four australian hospitals, *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, Vol. 5 no. 4, p. 1-19.
- PÉREZ, D. (2015). Método para el diagnóstico de procesos de negocio a partir de registros de eventos con ruido y ausencia de información. Tesis Doctoral, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba.
- QUAGLINI, S. (2008). Process mining in healthcare: A contribution to change the culture of blame. In: *Business Process Management Workshops, BPM 2008 International Workshops*, Vol. 17 of *Lecture Notes in Business Information Processing*, p. 308-311.
- RATTANAVAYAKORN, P. & PREMCHAIWADI, W. (2015). Analysis of the social network miner (working together) of physicians, in: *ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering 2015)*, 2015 13th International Conference on, IEEE, p. 121–124.
- REBUGE, A. J. S. (2012). Business process analysis in healthcare environments (Doctoral dissertation, Master, dissertation, The Technical University of Lisboa).
- REBUGE, Á. & FERREIRA, D. R. (2012). Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining, *Information Systems*, Vol. 37 no. 2, p. 99-116.
- REBUGE, Á., LAPAO, L. V., FREITAS, A. & CRUZ-CORREIA, R., (2013). A process mining analysis on a virtual electronic patient record system, in: *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer- Based Medical Systems*, Porto, Portugal, June 20-22, 2013, IEEE Computer Society, p. 554-555.
- RIEMERS, P. (2009). Process improvement in healthcare: a data-based method using a combination of process mining and visual analytics, Ph.D. thesis, Master’s thesis. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- ROJAS, E., MUNOZ-GAMA, J., SEPÚLVEDA, M., & CAPURRO, D. (2016). Process mining in healthcare: A literature review. *Journal of biomedical informatics*, 61, 224-236.

- ROVANI, M., F. MAGGI, M., DE LEONI, M. & VAN DER AALST, W. M.P. (2015). Declarative process mining in healthcare, *Expert Systems with Applications*, Vol. 42 no. 23, p. 9236–9251.
- ROZINAT, A., MANS, R. S., SONG, M., & VAN DER AALST, W.M.P. (2009). Discovering Simulation Models. *Information Systems*, Vol. 34 no. 3, p. 305-327.
- SHARMA, A. & MANSOTRA, V. (2014). Emerging applications of data mining for healthcare management- a critical review, in: *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, International Conference, p. 377-382.
- STAAL, J., (2010). Using process and data improving techniques to define and improve standardization in a healthcare workflow environment, Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- SURIADI, S., MANS, R. S., WYNN, M. T., PARTINGTON, A., KARNON, J. (2014). Measuring patient flow variations: A cross-organisational process mining approach, in: *Asia Pacific Business Process Management*, p. 43–58.
- VAN DER AALST, W M. P. (2011). *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*, Springer Science & Business Media.
- VAN DER AALST, W., ADRIANSYAH, A., DE MEDEIROS, A., ET AL., (2012). Process mining manifesto, volume 99 LNBIP of 9th International Conference on Business Process Management, BPM 2011P. Clermont-Ferrand.
- VAN DER AALST, W. M. P. (2012). Process mining: overview and opportunities. *ACM Transactions on Management Information Systems*, Vol. 3 no. 2, p. 7.
- VAN DER AALST, W. M. P. (2013). Could BPM and Process Mining Save US Healthcare 600 Billion Dollars? *The Healthcare Business Process Management Blog*. United States, 23 de Enero de 2013.
- VAN DER AALST, W.M.P. (2013a). Service mining: Using process mining to discover, check, and improve service behavior. *Services Computing, IEEE Transactions on*, Vol. 6 no. 4, p. 525-535.
- VOSSEN, G. (2012). The Process Mining Manifesto-An interview with Will van der Aalst. *Information Systems*, Vol. 37 no. 3, p. 288-290.
- VAN DER AALST, W. M., REIJERS, H. A., WEIJTERS, A. J., VAN DONGEN, B. F., DE MEDEIROS, A. A., SONG, M., & VERBEEK, H. M. W. (2007). Business process mining: An industrial application. *Information Systems*, Vol. 32 no. 5, p. 713-732.
- VAN DONGEN, B. F., & SHABANI, S. (2015). Relational XES: Data Management for Process Mining. In *CAiSE Forum 2015*, p. 169-176.

- VAN GIESSEL, M. (2004). Process mining in SAP R/3. Tesis de Maestría, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- YZQUIERDO, R. (2013). Minería de proceso como herramienta para la auditoría. Ciencias de la Computación. Vol. 44, p. 25-32.
- ZHOU, J. (2009). Process mining: Acquiring objective process information for healthcare process management with the crispdm framework, Ph.D. thesis, Master's thesis. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- ZHOU, Z., WANG, Y. & LI, L. (2014) Process mining based modeling and analysis of workflows in clinical care-a case study in a Chicago outpatient clinic, in: IEEE 11th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2014, IEEE, p. 590-595.