

Minería de Procesos en salud. Caso de Estudio: modelado de los procesos del área de Emergencias

Arturo Orellana García

Ing. Ciencias Informáticas, Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Boyeros, La Habana, Cuba, Email: aorellana@uci.cu

Yovannys Sanchez Corales

MSc., Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Boyeros, La Habana, Cuba, Email: yscorales@uci.cu

ABSTRACT

Decision making requires a high performance in strategic processes. The process mining is responsible for generating knowledge and discover processes from event logs that are extracted from information systems, for finding errors, inconsistencies and vulnerabilities. To improve its performance, organizations are looking for a better process management approach, which as a first step requires precise modeling of these. In the health sector, an area largely unexplored by researchers in the field, such modeling is even more critical given the nature of this kind of organization. Obtaining these processes is not trivial in many cases, but it is a very complex task. This article aims to generate process models of Emergency area through the ProM tool for obtaining detailed, realistic and easily analyzable views, from records stored in information systems for health processes, particularly in a hospital (which are rich in information and generally tend to be overlooked).

Keywords: Decision making, event logs, health sector, process mining.

RESUMEN

La toma de decisiones requiere un alto desempeño de los procesos estratégicos. La minería de procesos se encarga de generar conocimiento y descubrir procesos a partir de los registros de eventos extraídos que se encuentran en sistemas de información, en busca de errores, inconsistencias y vulnerabilidades. Para mejorar su funcionamiento, las organizaciones buscan cada vez más un enfoque de gestión de procesos, lo que como primer paso requiere un modelado preciso de estos. En el sector de la salud, esfera poco explorada por los investigadores del tema, dicho modelado es aún más crítico dada la naturaleza de este tipo de organizaciones. La obtención de estos procesos no es en muchos casos trivial, sino que se trata de una tarea de gran complejidad. En el presente artículo se propone generar modelos de procesos del área de Emergencias a través de la herramienta ProM para obtener vistas detalladas, adecuadas a la realidad y fácilmente analizables a partir de los registros guardados en los sistemas de información destinados a la salud, y en particular de un hospital (los cuales son ricos en información y por lo general suelen pasar desapercibidos).

Palabras claves: Toma de decisiones, registro de eventos, sector de la salud, minería de procesos.

1. INTRODUCTION

LA necesidad de investigar acerca de la minería de procesos y la automatización de los procesos de negocio es de gran importancia en este momento por la capacidad que tienen estas disciplinas de descubrir, aportar y dar soluciones a diversos problemas que se presentan a diario.

El crecimiento de un universo digital que está bien alineado con los procesos en las organizaciones hace posible registrar y analizar eventos (van der Aalst, 2011). Los eventos podrían variar desde el envío de información a

través del correo electrónico, la compra de insumos y materiales en una tienda, la atención a un paciente en determinado servicio médico, un ciudadano solicitando un préstamo, hasta la recepción del boleto de un viajero.

Las organizaciones actuales reconocen la ventaja que supone incorporar los nuevos avances tecnológicos a sus procesos de negocio. Con el fin de obtener resultados eficientes, constituye una prioridad para mejorar la administración y desempeño organizacional a través de la incorporación a la gestión de información un enfoque basado en procesos y el análisis correspondiente de su base de conocimientos.

El concepto de minería de procesos surgió hace más de una década (Agrawal, Gunopulos, Leymann et al., 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, desde ingeniería, ciencias computacionales, educación y salud hasta el desarrollo de software.

Hoy día las herramientas de Inteligencia de Negocios (Business Intelligence, por sus siglas en inglés) utilizadas en el dominio de la salud analizan los datos agregados desde una perspectiva externa (frecuencias, promedios, utilización, niveles de servicio, etc.) Estas herramientas de BI se centran sobre los indicadores de rendimiento, tales como el número de operaciones de rodilla, la longitud de las listas de espera, y la tasa de éxito de la cirugía. La minería de procesos se ve "dentro del proceso" a diferentes niveles de abstracción.

Una clase interesante de los sistemas de información que producen registros de eventos son los llamados Sistemas de Procesos Consciente de la Información (PAISS, por sus siglas en inglés) (Dumas et al., 2005). Ejemplos de ello son los sistemas clásicos de gestión de flujo de trabajo (por ejemplo, Staffware), sistemas ERP (por ejemplo, SAP), los sistemas de manejo de casos (por ejemplo, LOWer), sistemas PDM (por ejemplo Windchill), los sistemas de CRM (por ejemplo, Microsoft Dynamics CRM), middleware (por ejemplo, ebSphere de IBM), los sistemas de información de hospital (por ejemplo, Chipsoft), etc. Estos sistemas proporcionan información muy detallada acerca de las actividades que se han ejecutado.

En una revisión general del estado del arte se encontró una amplia información acerca de la aplicación de técnicas avanzadas de minería de procesos. Lo cual es interesante dado que es un tema bastante nuevo que está tomando gran fuerza por los resultados obtenidos y las amplias oportunidades para generar conocimiento mediante investigaciones. Esto se evidencia al observar las fechas en las cuales se han realizado las publicaciones presentadas en este documento, y que corresponden a años recientes.

Existen estudios, casos, aplicaciones y desarrollos al respecto, como también implementación de herramientas que soportan el análisis de los datos extractados de los procesos de negocio desde la perspectiva de minería de datos y de procesos en casi todas las esferas de la vida cotidiana, destacándose la industrial, mas no es así en el sector de la salud. Por esta razón se considera oportuno realizar varios experimentos y casos de estudio sobre sistemas que gestionen Información Hospitalaria (HIS u Hospital Information Systems, por su nombre en inglés), específicamente sobre un sistema de Gestión Hospitalaria desarrollado por la Universidad de las Ciencias Informáticas de Cuba, enfocando el análisis sobre el módulo: Bloque Clínico Quirúrgico, con el objetivo de encontrar oportunidades de valor agregado que permitan potenciar la toma de decisiones y mejorar la calidad de la atención sanitaria.

2. MINERÍA DE PROCESOS

Uno de los autores con más presencia en este campo (van der Aalst et al. (2003)), la minería de procesos (process mining) es el método de obtener la descripción de un proceso estructurado a partir de un conjunto de ejecuciones reales. El conjunto de ejecuciones reales es un informe del proceso que contiene información sobre el orden en el que se realizaron las actividades, además de información adicional sobre quién realizó la actividad, el momento en el que se realizó ("*timestamp*"¹), etc. y al que generalmente se denomina como "*event log*"². Una vez que

¹ Del español: Marca de Tiempo.

² Del español: Registro de Evento.

disponemos de estos event logs completos (a través de su extracción de los sistemas de información), tenemos conocimiento sobre qué ha ocurrido desde el comienzo hasta el final del proceso, lo que nos permite obtener gran cantidad de información acerca de cómo se ha realizado, los tiempos que se tardan en las ejecuciones del proceso, así como variaciones entre la realidad y lo prescrito.

El conjunto de herramientas integradas que dan soporte a negocios y a usuarios informáticos se denomina Inteligencia de Procesos de Negocio (Business Process Intelligence, BPI por sus siglas en inglés). Según (Grigori, Casati, Castellanos et al., 2004) BPI se refiere a la “aplicación de varias técnicas de medición y análisis en el área de BPM (Business Process Management, por su nombre en inglés). En la práctica, BPI está envuelta en herramientas para gestionar la calidad de la ejecución de los procesos al ofrecer varias características tales como análisis, predicción, monitoreo, control y optimización”.

La minería de procesos es una herramienta BPI (Seguel, 2008). Las técnicas de minería de procesos son "inteligentes", ya que el análisis que ellas proveen está basado en registros de eventos y modelos y requieren poca intervención humana para efectuarlo. Desde la fundación del Grupo de Trabajo del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronic Engineers, IEEE por sus siglas en inglés) en el año 2009, se han realizado talleres y sesiones especiales sobre Inteligencia de Procesos de Negocio (Business Process Intelligence, BPI por sus siglas en inglés), tutoriales (World Congress on Computational Intelligence, WCCI por sus siglas en inglés), escuelas de verano (Estonian Summer School in Computer and Systems Science, ESSCa por sus siglas en inglés), videos y varias publicaciones.

El uso de la minería de procesos conlleva a mejorar los procesos en una variedad de dominios de aplicación, desde software de aplicaciones, sistemas de inteligencia artificial hasta sistemas de gestión web. Es una disciplina de investigación relativamente joven que se ubica entre la inteligencia computacional y la minería de datos, por una parte; y la modelación y análisis de procesos, por otra (van der Aalst, 2011). Surge con el objetivo de analizar los registros de eventos destinados a recopilar las trazas de los procesos que ocurren en los sistemas de información actuales, en busca de errores, inconsistencias y vulnerabilidades.

Aunque la aplicación de esta tecnología es reciente, (Reijers, van der Aalst, Weijters et al., 2007; Rozinat, Mans, Song & van der Aalst, 2009; van der Aalst, 2011; Hernández, 2012); 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. De igual forma, se observa una vinculación a la mayoría de los sectores sociales, principalmente al sector de la salud, que tiene una influencia alta en la calidad de vida de los ciudadanos.

2.1 EJEMPLO DE EJECUCIÓN DE LA MINERÍA DE PROCESOS

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación del process mining a un event log simulado de información hospitalaria con el fin de aclarar los conceptos que se tratan en la presente investigación. De antemano aclarar que los event logs pueden contener una gran variedad de información, será ésta la que determine las perspectivas del proceso a descubrir. Si proporcionan las tareas que se ejecutan en el proceso y su orden de ejecución (el timestamp informa de la hora de ejecución de cada actividad) y se enlazan con instancias del proceso (cada instancia del proceso se refiere a un paciente), entonces se puede obtener la perspectiva de control de flujo y obtener una caracterización de todos los caminos (flujos) posibles de actividades que se pueden seguir. Si el event log proporciona información sobre la/s persona/s o sistema/s que llevan a cabo las tareas, entonces será posible descubrir la perspectiva organizacional y encontrar información referente a cómo están organizados los grupos de trabajo que llevan a cabo el proceso, o el papel que tiene cada uno de los participantes en el mismo mediante la observación de la transferencia de trabajo que se produce en el log o las reglas de ordenación que siguen los participantes. En la siguiente tabla (Tabla I) se describe el event log que será utilizado en el ejemplo.

Tabla 1: Ejemplo de "Event Log" de información hospitalaria.

Paciente	Actividad	Encargado	Timestamp
Paciente 1	Registro	Recepcionista	04-3-13/09:21:00
Paciente 2	Registro	Recepcionista	04-3-13/09:26:00
Paciente 3	Registro	Recepcionista	04-3-13/09:27:00
Paciente 1	Consulta de Evaluación	Médico A	04-3-13/09:30:00
Paciente 3	Consulta de Evaluación	Médico B	04-3-13/09:34:00
Paciente 1	Rayos X	Técnico en Rayos X	04-3-13/09:40:00
Paciente 1	Traumatología	Técnico en Traumatología	04-3-13/09:49:00
Paciente 3	Farmacia	Farmacéutica	04-3-13/10:02:00
Paciente 2	Consulta de Evaluación	Médico A	04-3-13/10:07:11
Paciente 1	Farmacia	Farmacéutica	04-3-13/10:13:28

Con el objetivo de lograr una comprensión sencilla de la tabla en cuestión se interpretará a continuación los procesos almacenados en la misma. El event log describe la afluencia de pacientes al hospital y las actividades que estos realizan una vez en él. Ejemplo de ello es el paciente 1 cuando llega al hospital y se registra a las 09:21:00 del día 04-3-13, luego a las 09:30:00 le atiende el Médico A en la Consulta de evaluación, más tarde (09:40:00) es remitido a radiología (Rayos X) y es atendido por el Técnico en Rayos X, de ahí se traslada a Traumatología a las 09:49:00 siendo atendido por el Técnico en Traumatología, por último va a la farmacia a recoger los medicamentos prescritos, quedando registrada la acción a las 10:13:28 y le atiende la Farmacéutica.

Con los datos proporcionados por este event log y mediante el uso de técnicas de process mining, se pueden obtener la perspectiva de control de flujo, ya que se almacenan las tareas (visibles en la columna "Actividad") y su orden de ejecución (visibles en la columna "Timestamp") enlazadas con instancias de proceso (visibles en la columna "Paciente"), y la perspectiva organizacional, gracias a la información acerca de las personas que realizan las tareas (visibles en la columna "Encargado"). Con una simple evaluación del event log podría conocerse el funcionamiento de los procesos, puede servir para hacerse una idea del potencial de esta técnica al aplicarse a event logs extraídos de sistemas de información hospitalarios reales, que pueden contener n registros.

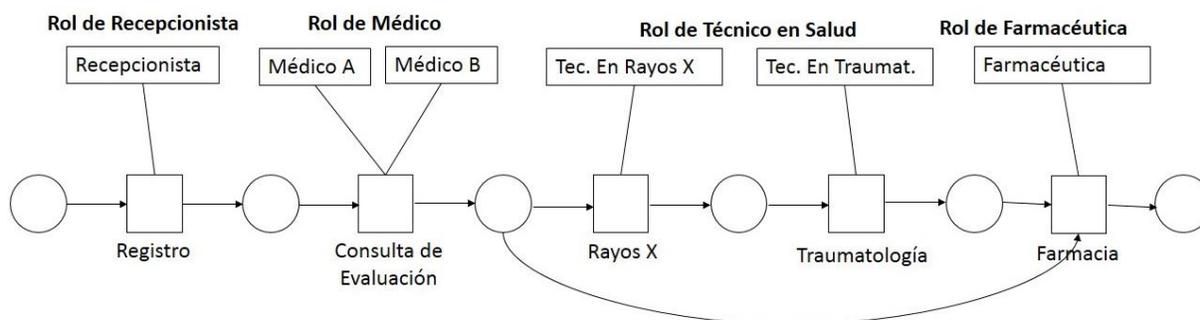


Figura 1: Modelo correspondiente al "event log" de la Tabla 1.

Además de las dos perspectivas mencionadas anteriormente, si el event log nos proporciona más argumentos sobre las tareas (tales como los datos que varían tras la realización de cada una de ellas) podemos obtener la perspectiva de casos. Si en el ejemplo anterior tuviéramos datos adicionales sobre los tipos de problemas médicos que pueden obtenerse de la evaluación podríamos obtener una regla de decisión que nos informara sobre los tipos de casos que van a Rayos X, Traumatología e incluso los que van a Farmacia tras la Consulta de Evaluación.

2.2 HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍA PARA MODELADO DE LOS PROCESOS DEL ÁREA DE EMERGENCIAS

Para la aplicación del process mining en el caso que se presenta a continuación se ha hecho uso de la herramienta ProM, la cual incluye una serie de módulos capaces de cubrir gran parte de las aplicaciones de process mining. Dentro de los módulos que ofrece se pueden resaltar los de minería de flujo de trabajo que se corresponden con implementaciones de los diferentes algoritmos de process mining (van der Aalst et al. ,2004; Weijters and van der Aalst, 2001; Alves de Medeiros, Ana K., 2006; Günther and van der Aalst, 2007), los módulos de análisis, que permiten realizar un análisis detallado del event log. Es interesante destacar que esta herramienta es de libre distribución, está desarrollada en Java y permite la creación de nuevos módulos de cualquiera de las funcionalidades que acarrea en su definición.

Se utilizó la herramienta Pentaho Data Integration para adaptar automáticamente el registro de trazas inicial a un enfoque basado en procesos.

Partiendo del fichero generado por el Sistema de Información Hospitalaria, se ha usado XESame la cual proporciona una forma genérica para la extracción de un registro de eventos, y está diseñado para ser fácil de usar. Una fortaleza clave de XESame es que no se requieren conocimientos de programación. Toda la conversión de la fuente de datos de registro de eventos puede ser definida a través de la interfaz gráfica de usuario para generar un fichero con el formato adecuado a la herramienta ProM, y una vez importado este fichero, se han usado varios módulos de filtrado para conseguir una estructura de datos uniforme, de manera que no existan problemas con los algoritmos de minería de flujo de trabajo. A partir de estos datos filtrados tenemos la posibilidad de extraer las perspectivas del proceso usando los módulos necesarios de la herramienta.

En este trabajo se aplica un procedimiento sustentado en las propuestas de van der Aalst, Bozkaya y Jans (Bozkaya, 2009; van der Aalst, 2011, Jans, 2011)). Dicho procedimiento describe un conjunto de pasos que guían la utilización de las técnicas y algoritmos de minería de proceso (**Figura 2**).

Los resultados obtenidos una vez llevado a cabo todo este proceso se verán en los siguientes apartados de forma más detallada.

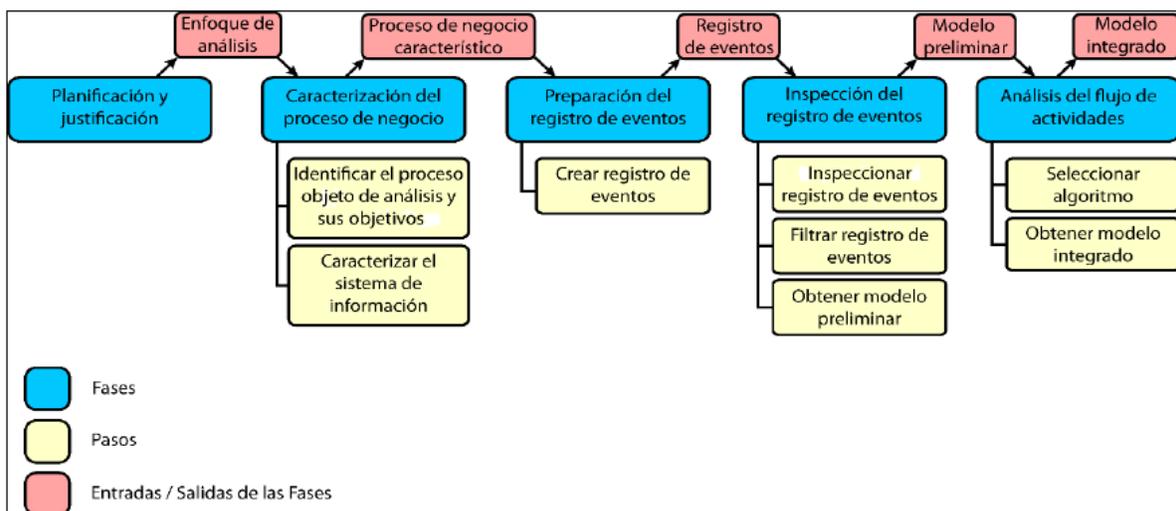


Figura 2: Metodología propuesta (Aplicada en el actual estudio).

El registro de eventos incluye un total de 6618 casos (instancias), 22786 eventos y se realizan 8 propiedades diferentes con 51 originadores (usuarios). Se considera un log extenso debido a la gran cantidad de casos registrados y existe solo el tipo de evento “completado”, o sea, compuesto por tareas atómicas.

```

<trace>
  <string key="concept:name" value="100101"/>
  <string key="description" value="Simulated process instance"/>
  <event>
    <string key="org:resource" value="anackp@tycsu.com"/>
    <date key="time:timestamp" value="2012-11-22T21:59:38.000+01:00"/>
    <string key="concept:name" value="Creando hoja de emergencia"/>
    <string key="lifecycle:transition" value="complete"/>
  </event>
  <event>
    <string key="org:resource" value="anackp@tycsu.com"/>
    <date key="time:timestamp" value="2012-11-22T22:02:35.000+01:00"/>
    <string key="concept:name" value="Creando hoja de emergencia"/>
    <string key="lifecycle:transition" value="complete"/>
  </event>
  <event>
    <string key="org:resource" value="anackp@tycsu.com"/>
    <date key="time:timestamp" value="2012-11-22T22:05:32.000+01:00"/>
    <string key="concept:name" value="Creando hoja de emergencia"/>
    <string key="lifecycle:transition" value="complete"/>
  </event>
</trace>

```

Figura 3: Vista de un fragmento perteneciente al registro de eventos obtenido.

Las fases del procedimiento se describen a continuación:

Fase 1. Planificación y justificación, se selecciona el enfoque de análisis para la aplicación de la minería de proceso, puede ser orientado a datos, a preguntas o a objetivos.

Fase 2. Caracterización del proceso de negocio. Obtiene un modelo preliminar del proceso. Se revisa la documentación del sistema, la información de las trazas, relación entre componentes para obtener la información básica.

Fase 3. Preparación del registro de eventos, con el objetivo de obtener un registro de eventos aplicable a las técnicas de minería de proceso. Esta fase se corresponde con la primera fase propuesta en el modelo de Bozkaya debido a que el tipo de minería de proceso a utilizar es de descubrimiento. El formato propuesto para el registro de eventos sigue el estándar XES y para su creación se utiliza una aplicación ad hoc desarrollada con MonoDevelop denominada JyX v1.0 (González, 2013), la cual facilita la conversión del registro de eventos en un archivo de extensión XES de modo que es utilizado como entrada en la herramienta ProM.

Fase 4. Inspección del registro de eventos, se realiza con el objetivo de obtener una representación preliminar de la secuencia de actividades del proceso, así como conocer la cantidad de casos, eventos, recursos, las fechas de inicio y fin del registro que intervienen en el mismo. Se detectan además irregularidades como tareas aisladas con baja frecuencia de ocurrencia, instancias incompletas, las cuales son filtradas posteriormente. Finalmente se aplica un diagnóstico del proceso con el objetivo de identificar la secuencia principal de actividades.

Fase 5. Análisis del flujo de actividades, tiene como objetivo obtener el modelo del proceso a partir del registro de eventos y exponer los resultados. Si se tiene una descripción previa del proceso, se ejecuta una verificación de conformidad para comprobar si el proceso se ajusta a la especificación, es decir, que cada caso en el registro de eventos pueda ser reproducido en el proceso definido. Si no existe una descripción del proceso, entonces se procede al descubrimiento del flujo de actividades mediante los algoritmos que mejor se ajusten a las características del proceso teniendo en cuenta su respuesta ante el ruido, completitud, tareas duplicadas u ocultas y los lazos. Algunos algoritmos son el Fuzzy Miner (Günther, 2009), Genetic Miner (Medeiros, 2006), Heuristic Miner (Weijters & van der Aalst, 2003), Alfa (van der Aalst, Weijters & Maruster, 2004) y ILP Miner (van der Werf & van Hee, 2008). Como resultado de la aplicación de varios algoritmos se obtienen diversos modelos. Luego se elige el modelo adecuado teniendo en cuenta su valor de métrica de ajuste (fitness), que indica cuánto del comportamiento observado en un registro de eventos es capturado por el modelo original del proceso (los valores están entre 0 y 1). Si el valor es mayor de 0.8 se considera aceptable (Rozinat & van der Aalst, 2006).

3. RESULTADOS

A continuación se analizarán los resultados obtenidos para los diferentes análisis llevados a cabo. Debido a las múltiples actividades que aparecen en el modelo de proceso de emergencias obtenido, sólo se mostrarán algunos ejemplos de los datos que pueden obtenerse a partir de la técnica aplicada, aunque el verdadero potencial de esta herramienta es el uso de ella por parte de los especialistas y directivos de la gestión del hospital para apoyarles en su toma de decisiones.

El procedimiento planteado es validado sobre el registro de trazas de un sistema de emergencias médicas que incluye las siguientes actividades en su flujo esencial: “Recibir Paciente”, “Crear Hoja de Emergencia”, “Actualizar Hoja de Emergencia”, “Interconsulta”, “Crear Orden Médica”, “Solicitud de Interconsulta”, “Paciente a Cirugía”, “Ingresar Paciente” y “Egresar Paciente”. A partir de la inspección inicial realizada sobre el registro de eventos creado, se evidencia mediante un análisis inicial, patrones de llegada irregulares, gran variación en el tiempo de ejecución de las instancias e inexistencia de patrones recurrentes, lo que constituyen factores que determinan que el proceso analizado es desestructurado como se muestra en la **Figura. 4**

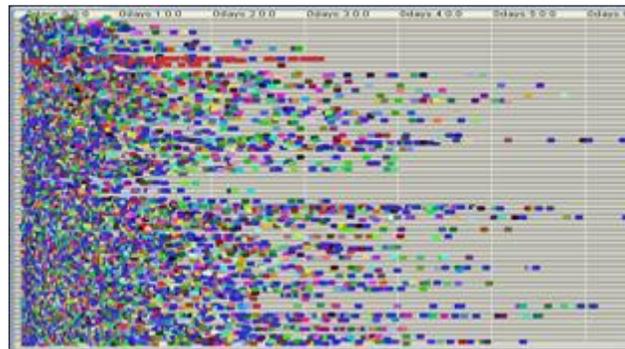


Figura 4: Análisis de Gráfico de Puntos.

Luego, al aplicar la técnica Fuzzy Miner. El resultado es un modelo (**Figura 6**), donde se evidencia poca consistencia de los datos almacenados. Por ejemplo, la actividad “Egresando Paciente” debe estar representada como una tarea final del proceso, sin embargo, en el modelo se observa que es un nodo intermedio que además presenta un lazo con la actividad “Creando hoja de emergencia”. También se evidencia que actividades como “Se registró una solicitud” y “Recibiendo paciente” no se conectan con otras actividades. Todas las actividades presentan lazos con ellas mismas (**Figura 5**). Cada nodo del modelo representado, muestra la significación que posee su correspondiente actividad. A partir de estos valores se identifica como la actividad más importante para la estructuración del modelo del proceso “Creando hoja de emergencia”. Se identifican como secuencias principales del proceso: “Inicio” – “Creando hoja de emergencia” – “Se ha generado el reporte” – “Fin” e “Inicio” – “Recibiendo paciente” – “Fin”, se utiliza como criterio el color y el grosor de los arcos del modelo.

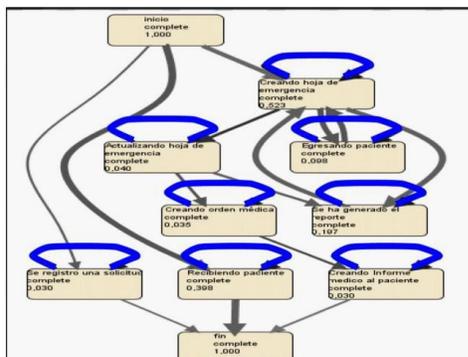


Figura 5: Modelo fuzzy (lazos).

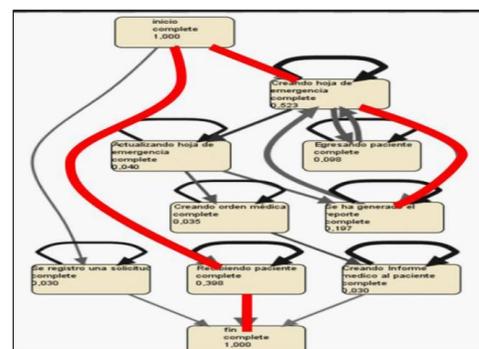


Figura 6: Modelo fuzzy (secuencias principales).

Posteriormente se escogen los algoritmos ILP Miner, Genetic Miner y Heuristic Miner para mostrar lo que realmente ha sido almacenado en el registro de eventos y obtener un modelo integrado. Las actividades de color rojo son las “Inicio” y “Fin”, y el resto de las actividades de color verde.

La **Figura.7** muestra un proceso de “Emergencias Médicas” al aplicar ILP Miner. Se evidencia falta de estructura debido a que está constituido por un gran número de actividades interrelacionadas y sin un orden establecido para ejecutarlas, lo que hace difícil entender el proceso real. En este modelo la actividad “Creando orden médica” presenta un comportamiento aislado. Por su parte el algoritmo Genetic Miner retornó 10 modelos diferentes, 9 de ellos poseen un bajo valor de fitness, lo que determina poca consistencia de los datos almacenados. En la **Figura. 8** se muestra el modelo obtenido con un fitness de 0.83, o sea, el 83% de los eventos pueden ser reproducidos correctamente en este modelo. Las actividades “creando informe médico al paciente” y “se registró una solicitud” ya se muestran como actividades aisladas dentro del proceso. El Heuristic Miner representa el modelo mostrado en la **Figura. 9**; éste manifiesta un valor de fitness de 0.90. Se observa que las actividades se ejecutan de modo paralelo, solamente se relacionan entre ellas las actividades “Actualizando hoja de emergencia” y “Se ha generado el reporte”. Se puede concluir que de los modelos obtenidos con la aplicación de los algoritmos de descubrimiento seleccionados, el más representativo según el análisis de la métrica de fitness es el modelo Heurístico.

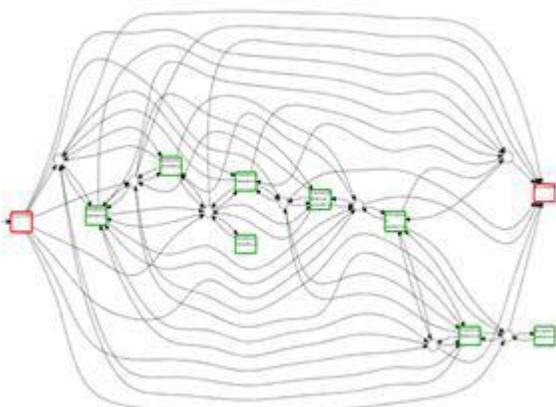


Figura 5: Modelo Genetic Miner (fitness 0.83).

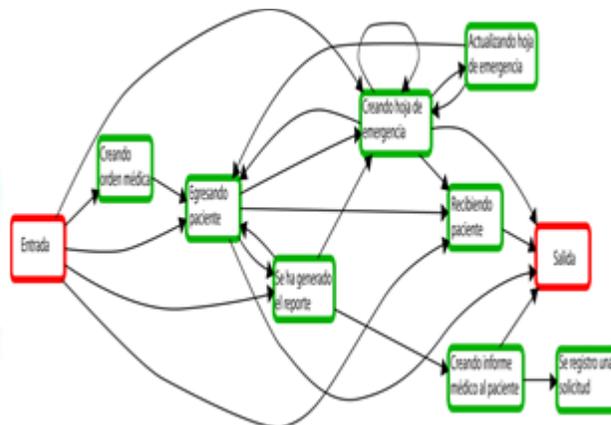


Figura 6: Modelo ILP (secuencias principales).

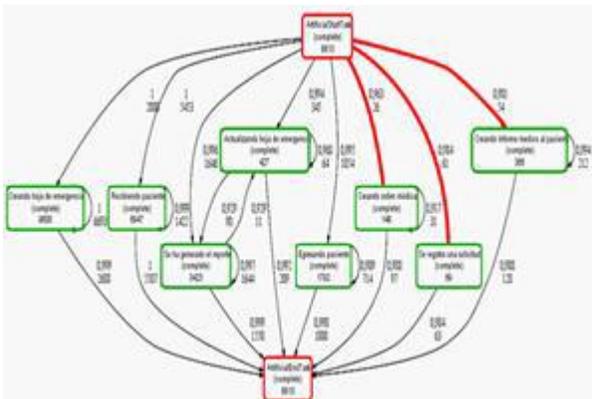


Figura 7: Red de Petri (fitness 0.91).

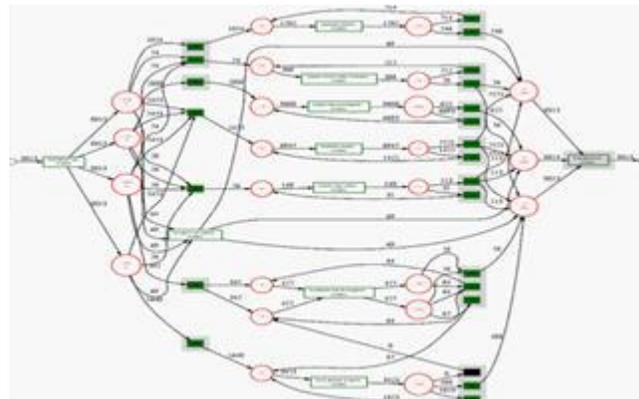


Figura 8: Modelo Heuristic Miner (fitness 0.90).

Finalmente se realiza una transformación del modelo a una red de Petri con el objetivo de analizar el comportamiento real de las trazas almacenadas con respecto al modelo obtenido. En la **Figura.10** se muestra la red de Petri obtenida cuyo valor de fitness es de 0,914. Las marcas de color verde que se observan representan tareas invisibles, algunas asociadas a decisiones no explícitas en el modelo. De igual manera, se expone en cada arco del modelo, la cantidad de punteros (tokens) que transitan de una actividad a la otra y se destacan con círculos rojos los tokens restantes y tokens ausentes que existen en el modelo. La aparición de estos tokens

penaliza el valor de la métrica de ajuste. A partir de estos punteros se pueden analizar las posibles desviaciones existentes en el flujo de actividades del proceso.

4. CONCLUSIONES

En la actualidad, las organizaciones tienden a adoptar una visión de procesos para lo que es indispensable un correcto modelado e implementación de éstos. El problema es que, por lo general, las organizaciones conocen poco de sus propios procesos y tienden a generar modelos de procesos que se parecen poco o nada a cómo se están desarrollando las actividades en realidad. Para solucionar este problema aparece el process mining. Es importante resaltar que a diferencia de otras técnicas como los análisis estadísticos tradicionales o la minería de datos, esta técnica nos ofrece el modelo explícito del proceso, lo que nos da una gran versatilidad a la hora de realizar análisis partiendo dicho modelo, desde análisis temporales sencillos hasta generación de escenarios “what if”.

En este artículo se presentan y analizan algunas de estas técnicas de process mining y se articulan dentro de una metodología que nos permite la generación de un modelo de simulación completo.

El resultado del procedimiento queda expresado en los modelos obtenidos en los cuales se visualiza un proceso desestructurado; se observó poca consistencia de los procesos programados, con respecto a los artefactos de software, ya que los modelos obtenidos presentan un alto nivel de ajuste (fitness), lo que evidencia poca correspondencia con el modelo de negocio. Finalmente se detectaron eventualidades en la definición de las actividades “Inicio” y “Fin” y en la secuencia de las actividades del proceso, además se encontraron actividades ocultas y aisladas.

Se puede observar cómo, a parte del modelo en sí ya comentado, este tipo de análisis nos ofrece una gran cantidad de información que puede ser de utilidad como soporte a la toma de decisiones para los encargados de la planificación de del área de emergencias.

Por último, podría comentarse que como futura mejora de este estudio se plantea la integración de estas técnicas en una herramienta de soporte a la toma de decisiones a la que los médicos del hospital pudieran acceder con el fin planificar de una forma más óptima los procesos antes mencionados, y conseguir de esta manera mantener o incluso mejorar la calidad asistencial con unos costes menores.

5. AUTORIZACION Y RENUNCIA

"Los autores autorizan a LACCEI para publicar los documentos en las actas del congreso. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que se expresa en el documento ".

Authorization and Disclaimer

Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.

REFERENCES

- Agrawal, R., Gunopulos, D. & Leymann, F. (1998). Mining Process Models from Workflow Logs, Sixth International Conference on Extending Database Technology, p. 469-483.
- Alves de Medeiros, Ana K. (2006). Genetic Process Mining. Technische Universiteit Eindhoven
- Bozkaya, M., Gabriels, J. & van der Werf, J. M. (2009). Process Diagnostics: a Method Based on Process Mining. The International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, Cancun, México.
- 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, p. 147-176.

- Dumas, M., van der Aalst, W., and ter Hofstede, A. (2005). *Process-Aware Information Systems: Bridging People and Software through Process Technology*. Wiley & Sons.
- Grigori, D., Casati, F., Castellanos, M. et al. (2004). *Computers in Industry. Process / Workflow Mining*. Vol. 53, p. 321-343.
- Günther, C.; van der Aalst, W. M. P. (2007). *Fuzzy Mining-Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics*. No. 4714, pp. 328-343
- Hernández, P.M. (2012). *Aplicación de técnicas de minería de proceso para el control y mejoramiento del proceso de compras nacionales e internacionales de bienes y servicios para proyectos de investigación de la Pontificia Universidad Javeriana*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Industrial, Bogotá.
- Jans, M. (2011). *Process Mining of Event Logs in Internal Auditing: A Case Study*. The 2nd International Symposium on Accounting Information Systems, Italy.
- González, J.G. (2013). *Manual de usuario de la herramienta JyX*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba.
- Günther, C.; van der Aalst, W. M. P. (2007). *Fuzzy Mining-Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics*. No. 4714, pp. 328-343
- Günther, C.W. (2009). *Process Mining in Flexible Environments*. Tesis Doctoral, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- Medeiros, A. K. A. d. (2006). *Genetic Process Mining*. Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- Reijers, A, van der Aalst, W.M.P, Weijters, A.J. et al. (2007). *Business Process Mining: An Industrial Application*. Information Systems, p. 713-732.
- Rozinat, A., Mans, R. S., Song, M., & van der Aalst, W.M.P. (2009). *Discovering Simulation Models*. Information Systems, Vol. 34(3), p. 305-327.
- Seguel, R. (2008). *Process Mining*. Extraído el 14 de enero de 2013 desde <http://www.bpm-latam.org/>
- Van der Aalst, W.M.P., ter Hofstede, Arthur, H. M. & Weske, M. (2003). *Business Process Management: International Conference*. Eindhoven University of Technology, The Netherlands: Springer, Vol. 1, p. 6-22.
- Van der Aalst, W.M.P., Weijters, T & Maruster, L. (2004). *Workflow Mining: Discovering Process Models from Event Logs*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol. 16, p. 1128-1142.
- Van der Aalst, W.M.P. (2011). *Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. London New York: Springer.
- Weijters, A. J. M. M.; van der Aalst, W. M. P. (2001). *Process Mining: Discovering Workflow Models from Event-Based Data*. Proceedings of the 13th Belgium-Netherlands Conference on Artificial Intelligence (BNAIC 2001). pp. 283-290