

Detection of Bottlenecks in Hospital Processes from the XAVIA HIS System using Process Mining

A. Orellana, C. Dávila, and I. León

Abstract—Sanitary services present various challenges, one of them are bottlenecks. bottlenecks cause anomalies and eventualities in the processes flow, directly affecting the patient's attention quality. The health organizations procure to apply a process management focusing and the usage of different technologies to improve their performance.

Process mining is a technology for the process analysis, which possibilities to identify characteristics and issues associated with the execution of the process from information systems. XAVIA HIS system has the necessary characteristics to contribute to the identification of bottlenecks applying process mining techniques. This research had as objective to develop and integrates an analysis view to identify bottlenecks from the XAVIA HIS system. To fulfill the proposed objective was selected and personalized the "Replay a log on Petri Net for Performance / Conformance" technique of process mining on the system. The analysis view developed and incorporated to the system, will allow making an analysis of the sanitary institutions execution processes. The solution proposal benefits the professionals and patients of the hospital institutions, increasing that way the quality of the provided services.

Index Terms—Bottlenecks, Process mining, Process model, Healthcare, XAVIA HIS system.

I. INTRODUCCIÓN

LA minería de procesos es una disciplina de investigación que permite descubrir, monitorear y mejorar procesos reales a partir de la extracción de conocimientos, desde los registros de eventos de los sistemas de información. Estos registros de eventos son el resultado del almacenamiento de la información de las actividades que componen los procesos en un período determinado de tiempo [1].

Para realizar análisis de minería de procesos es necesario hacer uso de herramientas orientadas a esta finalidad ProM [2] y Disco [3] las cuales generan modelos de la ejecución real de los procesos en sistemas automatizados. Estas herramientas presentan inconvenientes para la usabilidad y la comprensión de los modelos generados y se plantean estos problemas como desafíos en el Manifiesto de la minería de procesos [1], por lo que usuarios no expertos en el área se ven limitados a su uso.

El Centro de Informática Médica (CESIM) desarrolla un Sistema de Información Hospitalaria (Hospital Information System, HIS por sus siglas en inglés), el cual tiene como objetivo la informatización de los procesos hospitalarios en el nivel de atención secundario, permitiendo la gestión clínica y administrativa de los procesos médicos para elevar la calidad de atención a los pacientes.

En el CESIM se realizan investigaciones sobre los beneficios que brinda la aplicación de la minería de procesos en el sector de la salud [4][5][6][7][8] y en otros sectores como lo indican las investigaciones de De Weerd [9] y Cuartas [10]. Ejemplos de ello lo constituyen:

- Contribuir a los análisis para dedicar esfuerzos y recursos a priori a partir de los modelos obtenidos según registros históricos.
- Creación de equipos profesionales eficaces a partir de los registros de atención a pacientes.
- Análisis de las tendencias, comportamientos y eventos demográficos con el objetivo de hacer actualizaciones en programas sociales de salud.

Hasta el momento las investigaciones se han dirigido a la etapa de descubrimiento. El sistema XAVIA HIS tiene implementado una bitácora, como vía para recopilar información de la actividad de los usuarios y los procesos que ocurren en el sistema. En el sistema fue desarrollado un componente para la extracción y transformación de los datos de eventos contenidos en las trazas de ejecución en registros de eventos.

El análisis de los resultados de aplicar dicho componente evidenció que el sistema cuenta con las características necesarias para realizar análisis de la ejecución de los procesos [4][6]. Además, se desarrollaron un conjunto de instancias de complementos del marco de trabajo ProM para detectar variabilidad en la ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS. Su desarrollo contribuye a apoyar la toma de decisiones de importantes funciones gerenciales como la planificación, la gestión y el control de los recursos.

Luego de la aplicación de los componentes desarrollados en el sistema se detectaron las siguientes limitaciones:

- En algunas instituciones hospitalarias cubanas donde se encuentra el sistema se evidencia que existen largas colas de atención y poca capacidad de respuestas.
- El sistema tiene las características y los datos necesarios para realizar estudios de cuellos de botella, sin embargo, no tiene la forma de mostrar explícitamente su existencia.

A. Orellana., Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, aorellana@uci.cu

C. Dávila, Grupo de Investigación de Minería de Procesos de la UCI, La Habana, Cuba, cdavila@uci.cu

I. León, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, ils@uci.cu

- Desde el sistema los profesionales de la salud no pueden identificar la existencia de desviaciones con respecto al tiempo, en la ejecución de sus procesos de negocio.

Se realizaron entrevistas a especialistas de la gestión hospitalaria (Asesores de Registros Médicos, Estadísticos y Médicos Administrativos) en instituciones cubanas. Estas instituciones fueron: Hospital Hermanos Ameijeiras (4), Hospital Militar Central Doctor Carlos Juan Finlay (1), Hospital Naval Luis Díaz Soto (1), Clínica Central Cira García (2), Hospital Pediátrico Doctor Juan Manuel Márquez (1) y el Centro Nacional de Cirugía de Mínimo Acceso (2). El objetivo de las entrevistas fue conocer el impacto de la ocurrencia de cuellos de botella en el sistema hospitalario.

- Los entrevistados afirman que para Cuba sería importante detectar y reducir la ocurrencia de cuellos de botella en sus procesos, en función de aumentar la calidad de los servicios médicos y beneficiar la economía del país.
- Consideran necesario analizar alternativas tecnológicas para el ahorro de recursos y la optimización de los servicios que se brindan.
- Consideran que los cuellos de botella inciden directamente en demoras en el proceso, riesgos para la vida en casos de urgencias, ineficiencias y baja calidad.

Las técnicas de minería de procesos utilizadas en el marco de trabajo ProM son multiobjetivos, pueden ser empleadas para análisis de procesos en general. Para la identificación y análisis de cuellos de botellas es especialmente utilizada en la literatura la técnica *Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance* “*Replay P/C*”.

La presente investigación tiene como objetivo instanciar la técnica *Replay P/C* para el sistema XAVIA HIS, que permita la identificación de cuellos de botella en la ejecución de sus procesos. Para ello serán atendidos los desafíos 10 y 11 de la minería de procesos relacionados a mejorar la usabilidad y comprensión de los modelos de procesos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Replay P/C es una técnica de chequeo de rendimiento y conformidad que posibilita identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos [11] [12]. Además, mediante una escala de colores clasifica las actividades según su desviación con respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones.

Entre las características que definen esta técnica se encuentran:

- Detectar problemas.
- Extraer información de tiempo.
- Detectar cuellos de botella.
- Diagnosticar, predecir y recomendar.
- Generar modelo integrado mostrando los tiempos, frecuencias, etc.

Esta técnica requiere como entradas una Petri Net/Inhibitor/Reset/ResetInhibitor Net y un registro de eventos

para crear alineaciones avanzadas [11] entre cada traza en el registro y la red.

Existen diferentes alternativas para generar una Petri Net. Se han identificado en la literatura consultada disímiles estudios utilizando la técnica “*Replay P/C*” para la detección de cuellos de botella. Se realiza un análisis de las técnicas utilizadas en estas investigaciones para obtener la Petri Net desde ProM a partir de un registro de eventos.

Alpha Algorithm (α) es un algoritmo utilizado por la técnica *Mine for a Petri Net using Alpha-algorithm* de minería de procesos, destinado a la reconstrucción de la causalidad en un conjunto de secuencias de evento [13]. Puede extraer automáticamente una Petri Net que modela de forma concisa el comportamiento reflejado en el registro de eventos.

ILP Algorithm (*Integer Linear Programming*) es un algoritmo usado por la técnica *Mine for a Petri Net using ILP* en el marco de trabajo ProM, capaz de reproducir un registro de eventos mediante la construcción de una Petri Net. Los estados son generados en un orden que asegura que los más expresivos sean encontrados primero, solo son añadidos los que poseen menor cantidad de tokens, menos arcos salientes o más arcos entrantes. Además, cada solución mejorada de una ILP es también una solución de la ILP original, debido a que la nueva solución satisface todas las limitaciones de la formulación inicial ILP, y algunas restricciones adicionales. Por lo tanto, todos los estados construidos utilizando este procedimiento son estados factibles [14].

Inductive Miner Algorithm (IM) es un algoritmo de descubrimiento de minería de procesos, el cual trabaja recursivamente y se basa en la técnica *divide y vencerás* [15] [16]. Su funcionamiento comienza en seleccionar el operador raíz que mejor se adapte a un registro de eventos L, luego divide las actividades de L en conjuntos disjuntos formando nuevos registros y continúa dividiendo hasta que cada registro contiene una sola actividad. Las frecuencias de cada una de las trazas y los eventos son ignorados por el algoritmo IM. *Inductive Miner-infrequent* (IMi) es una extensión de este algoritmo, la cual se complementa con la adición de filtros de comportamientos poco frecuentes a todos los pasos de IM. En cada uno de los pasos operativos de IM se describe cómo el comportamiento poco frecuente afecta cada paso y como de forma distintiva el comportamiento frecuente y poco frecuente puede ser utilizado para mejorar el descubrimiento del modelo en un 80 por ciento. La selección de la Petri Net como notación se encuentra sujeta al propio funcionamiento y desarrollo de la técnica, y para la investigación resulta de importancia el uso de algoritmos de análisis con poco consumo, debido a la complejidad computacional que posee el Sistema XAVIA HIS.

Para analizar y evaluar los anteriores algoritmos de descubrimiento de procesos se necesita equilibrar criterios que permitan definir su capacidad ante determinados eventos. Se establecen como criterios los siguientes:

- *Aptitud* (*fitness*): el modelo descubierto debe permitir el comportamiento observado en el registro de eventos.
- *Sencillez* (*simplicity*): el modelo descubierto debe ser tan simple como sea posible.
- *Precisión* (*precision*): el modelo descubierto no debe permitir un comportamiento completamente ajeno a lo que se observa en el registro de eventos.

- Generalización (*generalization*): el modelo descubierto debe generalizar el ejemplo de comportamiento observado en el registro de eventos.

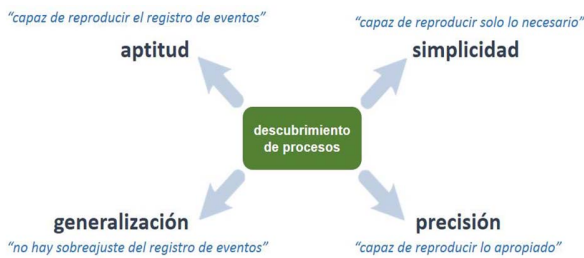


Fig. 1. Equilibrio de las cuatro dimensiones de la calidad. Fuente: Adaptado de [13].

Como muestra la Figura 1, un modelo que tiene una buena aptitud es capaz de reproducir la mayoría de los rastros en el registro de eventos. La precisión se refiere a la noción de *underfitting* presentado en el contexto de la minería de datos. Un modelo con una mala precisión es *underfitting*, es decir, permite un comportamiento que es muy diferente de lo que se

muestra en el registro de eventos. La generalización se relaciona con la noción de sobreajuste. Un modelo de *overfitting* no generaliza suficiente, por lo que se considera demasiado específico e impulsado por ejemplos en el registro de eventos. El criterio de calidad referente a la sencillez establece que "no se debe aumentar, más allá de lo necesario, el número de entidades requeridas para explicar algo".

Siguiendo esta idea es recomendable encontrar el "modelo de proceso más simple" que pueda explicar lo que se observa en el registro de eventos, pero resulta ser un reto equilibrar los cuatro criterios de calidad. Por ejemplo, un modelo simplista es probable que tenga una aptitud baja o falta de precisión. Por otra parte, existe una disyuntiva obvia entre *underfitting* y *overfitting*.

Se realiza una comparación basada en las características de los algoritmos Alpha, ILP, e Inductive. Para ello, el análisis se sustenta en la relación de las técnicas con los 4 aspectos de calidad, representados en el esquema de la Figura 2, apoyado en datos de la ejecución de los algoritmos calculados mediante fórmulas matemáticas, a partir de registros de eventos reales en [15-16] y representados en el gráfico de barras de la Figura 2.

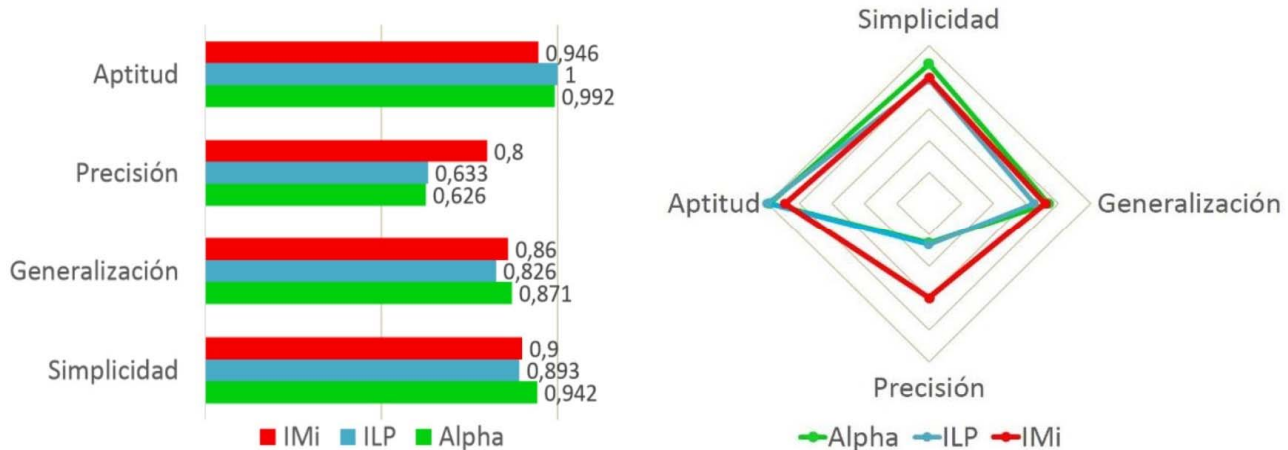


Fig. 2. Comparación del equilibrio de las técnicas seleccionadas sobre las dimensiones de calidad. Fuente: elaboración propia.

Algoritmos de descubrimiento como α , e ILP pueden producir modelos indeseables debido a la dificultad que tienen para detectar comportamientos poco frecuentes, e incluso cuando el comportamiento frecuente se separa por filtración [17]. Se selecciona el algoritmo Inductive Miner-infrequent por obtener un mayor equilibrio en los aspectos definidos. Un conjunto de investigadores liderados por van der Aalst, precursor de la minería de procesos, realizó pruebas donde los algoritmos descritos previamente fueron aplicados a registros de eventos sintéticos que se generan de procesos reales [18] [19] [20], esto fue utilizado como criterio adicional para la selección del algoritmo.

Un análisis documental realizado sobre la técnica arroja que no posee dependencias funcionales con otras. El resultado de la técnica muestra todas las alineaciones entre el registro de eventos y la red a partir de la visualización "Projects Alignments to Log".

Con el uso del atributo de evento "time:timestamp" que indica fecha y hora, la visualización por defecto "Performance projection to model" proyecta información de rendimiento en el

modelo original. Al aplicar la técnica desde la herramienta ProM se obtienen otras visualizaciones para realizar análisis de chequeo de rendimiento y conformidad desde varias perspectivas [12].

Performance projection to model utiliza un esquema de colores sin fisura desde verde (valor bajo) hasta rojo (valor alto). Por defecto, el color de transición muestra el tiempo medio de permanencia de las transiciones, el lugar del color muestra el tiempo promedio de espera en los lugares, y el espesor del arco muestra la frecuencia de los *tokens* que pasan. Sin embargo, este esquema de colores también puede ser modificado. Permite separar además casos finalizados rápidamente de casos que requieren mucho tiempo para completarse. Esta visualización se identifica como la más adecuada para representar cuellos de botella explícitamente, debido a la posibilidad de realizar análisis de rendimiento de procesos, mediante la representación de una Petri Net basada en un modelo BPMN e indicadores de desempeño definidos en la vista.

A. Ambiente de Desarrollo

El sistema XAVIA HIS está desarrollado con tecnologías libres, por tanto, se propone el uso de las tecnologías y herramientas siguientes para la implementación, además cumplen con las políticas de independencia tecnológica definidas en Cuba para la informatización de la sociedad cubana. Como lenguaje de programación se utilizó Java, el mismo permitirá la creación e implementación de las clases controladoras.

Como Entorno Integrado de Desarrollo Eclipse 3.4.2, para el desarrollo del componente se le integró el marco de trabajo JBoss Seam 2.1.1 y servidor JBoss 4.2.2. Como marco de trabajo se utilizó Hibernate 3.3 pues es un marco de trabajo de persistencia para Java de libre distribución que facilita el mapeo de atributos entre una base de datos relacional y el modelo de objetos de una aplicación.

Para el entorno de desarrollo se tiene una computadora con un procesador Intel(R) Core(TM) i3-2120 CPU @ 3.30 GHz de velocidad y 4GB de memoria RAM. La computadora tiene instalado el sistema operativo XUBUNTU 14.04. Estas características persistirán en las pruebas de rendimiento de la técnica incorporada al Sistema XAVIA HIS.

III. RESULTADOS

A. Integración de Replay P/C al XAVIA HIS

Se deben agregar al servidor JBoss 4.2.2 un conjunto de 44 bibliotecas que posibiliten el funcionamiento de la vista de análisis desarrollada. Estas bibliotecas se encuentran disponibles en el repositorio abierto de código fuente en línea de la Universidad de Eindhoven, Holanda.

Además, es necesario añadir al servidor de aplicaciones, para ejecutar la técnica mediante la vista de análisis desde el sistema XAVIA HIS.

- freehep-graphics2d-2.1.1.jar
- freehep-graphicsio-2.1.1.jar
- freehep-graphicsio-svg-2.1.1.jar
- freehep-io-2.0.2.jar
- freehep-util-2.0.2.jar
- freehep-xml-2.1.1.jar
- InductiveMiner.jar: contiene el algoritmo Inductive Miner-infrequent.
- ProcessTree.jar: el algoritmo Inductive Miner-infrequent mina el registro de eventos y genera un Process Tree, el cual es convertido a una Petri Net posteriormente.
- PNetAlignmentAnalysis.jar: este paquete contiene todas las clases necesarias para dar colores a la Petri Net y añadirle la información de los tiempos asociados a las actividades representadas.
- Replayer.jar: es una adaptación del paquete de clases PNetReplayer.jar de la técnica "Replay P/C" debido a que este presenta un conjunto de clases, métodos e interfaces de usuario que no son necesarios para realizar la identificación de cuellos de botella desde el sistema XAVIA HIS.

- Properties.jar: establece las propiedades de la imagen con formato svg que se genera.
- jgrapht-jdk1.6.jar: generara el grafo que se construye a partir de la Petri Net.

Para agregar la vista de análisis se implementaron las clases ReplayControl, ManifestPerf y Actividad. La clase Actividad contiene el atributo id el cual almacena el nombre de la actividad y el atributo tiempos se encarga de almacenar los valores mínimo, máximo, promedio y desviación típica asociados a los tiempos de ejecución, espera y estadía de la actividad en cuestión.

La clase ManifestPerf es una adaptación de la clase ManifestPerfPanel que se encuentra en el paquete PNetAlignmentAnalysis, se le realizaron modificaciones debido a que incluía atributos y métodos innecesarios para su aplicación en el entorno del sistema XAVIA HIS, por la necesidad de las modificaciones se agregó como una clase nueva y es utilizada para dar color a la Petri Net obtenida luego de ejecutar el algoritmo Inductive Miner-infrequent.

La clase ReplayControl contiene el atributo manifestPerf que es una instancia de la clase ManifestPerf. Esta clase almacena el manifiesto con todos los datos necesarios para su visualización. Recibe por parámetros el registro de eventos generado por el Componente para la extracción y transformación de trazas del sistema XAVIA HIS con el fin de realizar todas las operaciones necesarias para obtener el manifiesto. Además, posee las instancias de las clases IMMiningDialog y ProcessTree de la técnica Inductive Miner-infrequent, así como las instancias de las clases de la técnica "Replay P/C":

- PNManifestReplayer.
- PNManifestReplayerParameter.
- PNManifestReplayerILPAlgorithm.
- Manifest.
- PerfCounter.

Para la integración con el sistema XAVIA HIS:

1. Se añadieron al sistema los paquetes de clases PNetAlignmentAnalysis.jar y Replay.jar, este último es una modificación de PNetReplayer debido a que el original contiene clases que no son necesarias para realizar el análisis y la detección de cuellos de botella. Replay.jar contiene las clases de la técnica "Replay P/C" necesarias para ser utilizadas posteriormente en la construcción del manifiesto, mientras que PNetAlignmentAnalysis contiene las clases para dar color a la Petri Net y visualizarla en el entorno del sistema XAVIA HIS.
2. Se creó un paquete (gehos.almacén.session.procesos.replay) con las clases: Actividad, ManifestPerf y ReplayControl.
3. A partir del Componente para la extracción y transformación de trazas que posee el sistema XAVIA HIS, se obtiene un registro de eventos con todos los datos necesarios para aplicar la técnica "Replay P/C".
4. En la vista de la página Analisis_Proceso.xhtml es posible seleccionar el rango de fechas y del proceso a analizar, estos son recibidos por la clase controladora Analisis_Proceso.java la cual a partir de estos datos genera el registro de eventos haciendo uso del

Componente para la extracción y transformación de trazas. Esta vista de análisis se encarga de acceder al modelo y utilizando las tecnologías Hibernate, Enterprise Java Bean y Java Persistence API extraer de la base de datos del sistema los datos necesarios para generar el registro de eventos.

5. Luego en la clase Analisis_proceso.java se instancia la clase ReplayControl.java para a partir de ella generar mediante el método `init()` la Petri Net que representa las actividades con una escala de colores intuitiva para el usuario y la lista de actividades que contiene los datos de los tiempos asociados a estas.
6. Al hacer uso de las funcionalidades `Attribute()`, `getClassFor()` y `createCaseFilter()` implementadas en la clase `ReplayControl` se pueden generar las métricas y atributos necesarios para obtener el manifiesto, y la funcionalidad `listaActividades()` que devuelve la lista de las actividades representadas en la Petri Net con sus respectivos datos de tiempos asociados.

Se visualiza en la página `Replay.xhtml` la Petri Net que puede cambiar en consecuencia de la perspectiva temporal que se seleccione a partir de las opciones existentes. La página permite visualizar además una tabla con los datos de los tiempos asociados a la actividad que se escoja en un Combo Box que se encuentra debajo de la imagen de la Petri Net, todo esto gracias al uso de los componentes de richfaces `rich:dataTable` y `rich:comboBox` respectivamente.

B. Métricas Configuradas para la Instanciación

Al aplicar la técnica de minería Mine a Petri Net with Inductive Miner y la selección de la variante Inductive Miner-infrequent es posible modificar el valor correspondiente al umbral de ruido para a partir del registro de eventos, ya previamente generado en Xlog, producir un árbol de proceso. Se mantuvo por defecto el valor del umbral de ruido de un 20 por ciento, (por recomendación del autor de la técnica [12]), con el objetivo de hacer más fácil el procedimiento del modelado del proceso.

Cuando se aplica la técnica “Replay P/C” se selecciona que tipo de clasificador de eventos se va a utilizar para obtener la lista de clases de evento y los patrones comprometidos. Entre `Event name`, `Resource`, y `MXML Legacy Classifier`, este último es el seleccionado por defecto. Como característica, este clasificador permite tener en cuenta los valores de *start-complete* para el dato `lifecycle:transition` perteneciente a los registros de eventos.

La asignación de las transiciones a los patrones puede ser realizada a partir de dos clasificadores de transiciones: *ID-based Classifier* y *Label-based Classifier*. Se selecciona por defecto *Label-based Classifier* como clasificador. El algoritmo utilizado para construir las alineaciones es el ofrecido únicamente por la técnica, *A* ILP-based manifest replay* permite reproducir la construcción de la manifestación de secuencias de patrones de clases de eventos mediante una función heurística. Otras de las métricas configurables son la cantidad de estados a explorar, con valor por defecto de 2000 y los costos asociados al tránsito por el modelo dentro de cada una de las transiciones y eventos, con valor 1; excepto valor 0 para las transiciones que representan ruido generadas por

Inductive Miner-infrequent en el descubrimiento de la Petri Net.

C. Punto de Entrada: Generación del Registro de Eventos

En el sistema XAVIA HIS los eventos se registran automáticamente y de manera sistemática y confiable a partir del motor de flujo jBPM. Se da soporte de manera explícita a nociones tales como instancia de proceso (caso) y actividad. Se define el registro de eventos en el nivel 4 de madurez, por lo que al aplicarle técnicas de minería de procesos se pueden obtener resultados.

A partir del Componente para la extracción y transformación de las trazas de ejecución, se obtiene un fichero de extensión `.xes`, el cual contiene la información del registro de eventos que permitirá aplicar la técnica “Replay P/C” en el sistema XAVIA HIS y se almacena temporalmente a partir de la sentencia `this.template_dir_tempLogs = dir_real_path + "/modAlmacen/Logs/tempLogs/";`

D. Obtención de una Petri Net

Una vez preparado el punto de entrada de la herramienta, se procede a la realización del modelado de la Petri Net correspondiente. Esto comienza con la realización de una instancia de la librería `IMMiningDialog` que recibe como parámetro el `XLog` generado. Posteriormente la clase `ProcessTree` se encarga de almacenar el árbol de procesos que se obtiene de aplicar el método `IMProcessTree.mineProcessTree`. La variable `pn` almacena la Petri Net con marcas que se obtiene de convertir el árbol de procesos (*tree*) mediante la utilización de la funcionalidad `convert` de la clase `ProcessTree2Petrinet`. A continuación se expone el código en el lenguaje Java utilizado para obtener la Petri Net.

```
IMMiningDialog dialog= new
IMMiningDialog(xLog);
ProcessTree tree =
IMProcessTree.mineProcessTree(xLog,
dialog.getMiningParameters());
ProcessTree2Petrinet.PetrinetWithMarkings pn =
null;
pn = ProcessTree2Petrinet.convert(tree);
```

E. Obtención del Manifiesto

En este caso se utiliza la palabra manifiesto para nombrar la salida del paquete `PNetReplayer`, que se conforma con varios parámetros de entrada además del `XLog` y la Petri Net correspondiente. Al obtener la Petri Net del método *Inductive Miner-infrequent* se generan las marcas de inicio y de fin, que son utilizadas como parámetros. Se selecciona el algoritmo *A* ILP-based manifest replay* por defecto utilizado para realizar el chequeo de rendimiento.

Posteriormente al instanciar un objeto de tipo `PNetManifestReplayerILPAlgorithm` es posible aplicar el método `replayLog` para almacenar el resultado en una variable de tipo `Manifest`, la cual constituye la entrada para poder aplicar `PNetAlignmentAnalysis`, funcionalidad encargada de obtener la visualización “*Performance Projection to Model*”, para la identificación a

través de una vista de análisis que muestre una *Petri Net* con los posibles cuellos de botella.

```

PNManifestReplayer          replayer=          new
PNManifestReplayer ();
PNManifestReplayerParameter parameter=        new
PNManifestReplayerParameter ();
Marking [] finalMarkings= new Marking [1];
finalMarkings [0]= pn.finalMarking;
Object                       []
algAndParam=replayer.chooseAlgorithmAndParam(n
ull, pn.petrinet, xLog, pn.initialMarking,
finalMarkings);
parameter=(PNManifestReplayerParameter)
algAndParam [1];
PNManifestReplayerILPAlgorithm alg=
(PNManifestReplayerILPAlgorithm) algAndParam
[0];
Manifest manifest = alg.replayLog(null,
pn.petrinet, xLog, parameter);
    
```

IV. APLICACIÓN DE LA TÉCNICA EN EL CONTEXTO HOSPITALARIO

El fin de la propuesta de solución es brindar a usuarios del entorno hospitalario una herramienta de apoyo a la toma de decisiones. También, mejorar el entendimiento y usabilidad de los modelos que se generan. Para ello es necesario que el componente desarrollado, basado en replay P/C muestre de forma intuitiva e inteligible la formación de cuellos de botella en la ejecución de los procesos que están definidos en el sistema XAVIA HIS.

En la visualización de los resultados se muestra una Petri Net y una tabla con los tiempos asociados a cada actividad de proceso. La Petri Net descubierta puede ser obtenida en tres perspectivas diferentes: tiempo de estadía, tiempo de espera y

tiempo de procesamiento. Para identificar los posibles cuellos de botella, al igual que la técnica de ProM, esta vista de análisis utiliza la escala de colores definida en la leyenda mostrada y el grosor de los conectores para describir la frecuencia de trazas. A cada actividad de proceso le corresponde una transición (rectángulo) y dentro de cada transición se puede observar el tiempo correspondiente a la perspectiva seleccionada. El sistema permite expandir, contraer y arrastrar el modelo. Por su parte, la tabla que se visualiza en la vista de análisis es la equivalente a la tabla que se muestra en el panel Inspector de ProM, obtenido por la técnica "Replay P/C". Para visualizar los indicadores se selecciona la actividad a analizar y a partir de esta se genera la tabla correspondiente. La estructura de la tabla está diseñada para que a cada fila le corresponda un indicador; cada columna es asociada a los valores máximos, mínimos, promedio y desviación típica.

Se realizó un experimento con el objetivo de demostrar la capacidad del componente desarrollado para identificar cuellos de botella en la ejecución de procesos hospitalarios. Se seleccionó el proceso Solicitar productos del módulo almacén el sistema XAVIA HIS. El módulo Almacén se encarga de gestionar el flujo de información sobre los distintos movimientos que puede tener un producto en un almacén. Existen tres tipos de solicitudes de producto, solicitud de licitación, solicitud de almacén y solicitud de bloque quirúrgico. Se obtuvo un registro de eventos del proceso antes mencionado, el cual comprende las ejecuciones realizadas sobre el mismo en las fechas 01/01/2011 y 01/01/2013. El proceso fue ejecutado 1140 veces, o sea, el registro de eventos contiene 1140 instancias del proceso. Se evidencian 5667 eventos, correspondientes a las 8 actividades del proceso y 26 personas interactuaron con estas actividades.

La Figura 3 muestra la interfaz de usuario de la vista de análisis en el sistema XAVIA HIS.

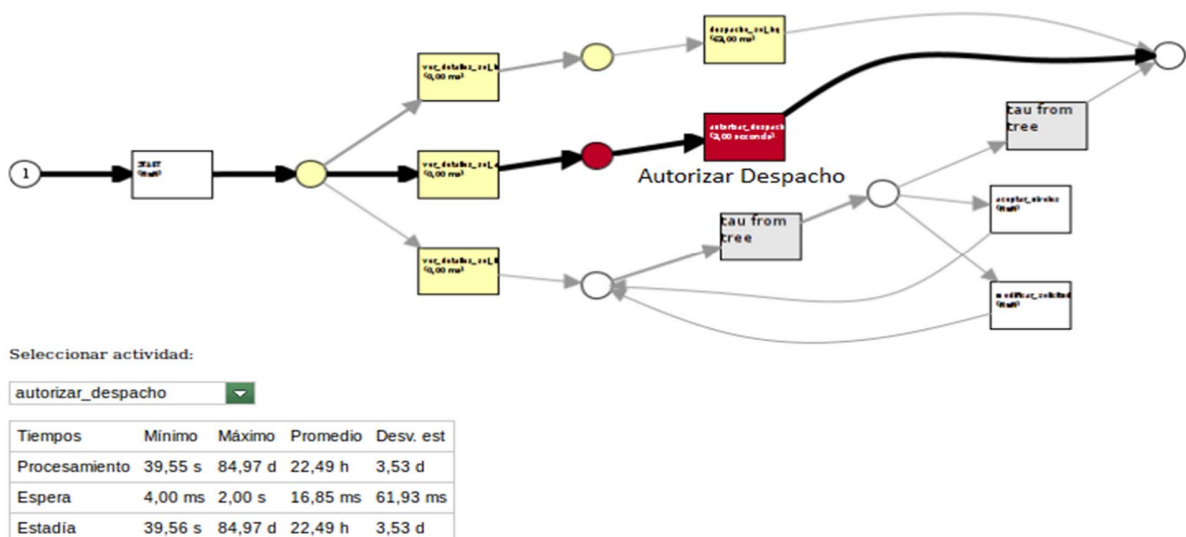


Fig. 3. Modelo de proceso obtenido al aplicar la técnica Replay P/C. Fuente: elaboración propia.

Luego de analizar el modelo, se constata que en la actividad Autorizar despacho los tiempos de demora son elevados (entre

16 y 23 horas), haciendo que en esta actividad se detecte un cuello de botella. Esto puede ocurrir por ineficiente gestión de

los recursos (faltantes o demoras en el surtimiento de insumos) o por insuficiencias de los profesionales que se encargan de la actividad, según entrevistas a especialistas que laboran en el almacén de hospitales y procesan solicitudes. La desviación típica entre los usuarios que inciden sobre esta actividad se encuentra en el rango de 20 horas a 4 días, lo cual, según expertos estadísticos consultados en registros médicos es excesivo.

En la presente investigación fue aplicada una encuesta integrada por 7 preguntas a una muestra representativa de 15 personas, 2 de ellos personal médico, 6 estadísticos, y 7 administrativos pertenecientes a los hospitales Cira García, Hermanos Ameigeiras y Clínica Nacional de Cirugía de Mínimo Acceso. La población está constituida por los estadísticos y administrativos del nivel secundario de la salud en la provincia La Habana. Para la selección de los hospitales a utilizar en el estudio se empleó un muestreo no probabilístico intencional teniendo en cuenta que estos hospitales conocen o han interactuado con algún HIS. Para la selección de la muestra se utilizó el muestreo probabilístico aleatorio simple. La figura 4 muestra el resultado obtenido.



Fig. 4. Distribución de la satisfacción de usuarios con respecto a la vista de análisis desarrollada. Fuente: (elaboración propia)

El valor ISG obtenido al aplicar la técnica fue 0,867, el cual se encuentra en el intervalo de satisfacción, por lo que se puede concluir que existe un alto grado de satisfacción con vista de análisis desarrollada para la identificación de cuellos de botella en el sistema XAVIA HIS aplicando la técnica “Replay P/C”.

El cuestionario aplicado contó además con cuatro preguntas complementarias para conocer el grado de conocimientos que poseen los encuestados. Ello permitió profundizar en cuestiones positivas y negativas acerca de su afinidad a la tecnología propuesta para solucionar el problema planteado. Se observó que el 63 % considera que la vista de análisis desarrollada mejora la usabilidad, el 30% la comprensión y el 7% no sabría qué decir. Además, permitió obtener datos sobre elementos a tener en cuenta para futuras mejoras de la propuesta.

Para conocer los tiempos de ejecución de la obtención de la visualización realizado en el entorno del sistema XAVIA HIS se decidió realizar una prueba de rendimiento, teniendo en cuenta la misma computadora empleada en la implementación de la propuesta. Para validar la solución es necesario aplicar un enfoque cuantitativo de estudio de casos múltiples. Los casos en esta investigación constituyen varias situaciones de pruebas para saber el tiempo de respuesta de la técnica, con registros obtenidos a partir de diferentes fechas para varios procesos.

Las trazas de ejecución de los procesos Solicitar producto y Transferencia hospitalaria están concentradas entre el 1 de enero del 2012 y el 27 de junio del 2013, fueron seleccionadas por su representatividad en la base de datos del sistema. Para conocer la cantidad de casos (C), eventos (E) y actividades (A) ubicadas en los rangos de tiempos definidos se utilizó la funcionalidad para la inspección de registros de eventos.

TABLA I
TIEMPO DE EJECUCIÓN DE LA TÉCNICA INTEGRADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Fecha	1/1/2012-1/11/2012	1/1/2012-1/1/2013	1/1/2012-27/6/2013
Solicitar producto	C 78	C 273	C 1128
	E 398	E 1369	E 5617
	A 15	A 15	A 15
	t 2,6 s	t 1,68 s	t 2,09 s
Transferencia hospitalaria	C 56	C 56	C 75
	E 168	E 168	E 225
	A 3	A 3	A 3
	t 1,3 s	t 1,55 s	t 1,28 s

Para conocer los tiempos empleados por el componente de análisis desarrollado en el sistema XAVIA HIS se utilizó el complemento FireBug 2.0.14 de Mozilla Firefox.

Todos los tiempos empleados por la herramienta para mostrar los resultados están por debajo de los 2,6 segundos, y en comparación con el tiempo que emplea un usuario con conocimientos sobre minería de procesos en aplicar la técnica desde el marco de trabajo ProM son considerablemente inferiores. Se considera que al utilizar la técnica integrada desde el sistema XAVIA HIS no es necesario realizar una secuencia de pasos y configuraciones de métricas que desde ProM si son necesarios, lo que puede constituir una mejora en el entendimiento y comprensión de los usuarios no expertos en minería de procesos.

V. CONCLUSIONES

La minería de procesos es una tecnología novedosa, ampliamente utilizada para realizar análisis de procesos de negocio y se evidencia en la literatura un auge hacia el entorno hospitalario.

Entre las técnicas que permiten la identificación de cuellos de botella se encuentra “Replay P/C”, esta propicia mostrar resultados sobre el rendimiento de los procesos y su adaptación tecnológica y funcional de acuerdo al interés de la investigación.

A partir del resultado obtenido se constata que es posible integrar la técnica Replay P/C al Sistema de Gestión Hospitalaria XAVIA HIS y obtener información sobre la ejecución de procesos informatizados.

Las métricas de la técnica propuesta permitieron usar sus valores por defecto en aras de obtener resultados confiables y proporcionar menor complejidad de uso a los usuarios.

Fue posible disminuir la complejidad del proceso de minería para obtener resultados satisfactorios con la técnica Replay P/C, extendiendo y facilitando su uso a especialistas del dominio hospitalario.

REFERENCIAS

- [1] van der Aalst, W. M. P. *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*, Springer Science & Business Media. 2011.
- [2] Claes, J., & Poels, G. *Process mining and the ProM framework: an exploratory survey*. In *Business Process Management Workshops*. Springer Berlin Heidelberg, p. 187-198. 2013.
- [3] Van der Aalst, W. M., van Dongen, B. F., Günther, C. W., Rozinat, A., Verbeek, E., & Weijters, T. *ProM: The Process Mining Toolkit*. BPM (Demos), Vol. 489, p. 31. 2009.
- [4] Orellana, A., Pérez-Alfonso, D., & Larrea, O. U. *Analysis of Hospital Processes with Process Mining Techniques*. MEDINFO 2015: EHealth-enabled Health: Proceedings of the 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics. Vol. 216, pp. 310-314. 978-161449-564-7, 2015.
- [5] Orellana, A., Ramirez, Y. E. P., & Larrea, O. U. A. *Process Mining in Healthcare: Analysis and Modeling of Processes in the Emergency Area*. IEEE Latin America Transactions, Vol. 13 no. 5, 1612-1618. 2015.
- [6] Orellana, A., Dominguez, L. C., & Martinez, A. V. *Analysis of Hospital Processes from the Time Perspective Using Process Mining*. IEEE Latin America Transactions, Vol. 16 no. 6, 1741-1748. 2018.
- [7] Orellana, A., Sentí, V. E. & Alfonso, D. P. *MVD. A Model for the Detection of Variability in Hospital Processes Using Process Mining*. Latin America Transactions, IEEE, Vol. 14 no. 4. p. 968-976. ISSN 1548-0992. 2018.
- [8] Orellana, A. *Analysis of Hospital Processes from the Time Perspective Using Process Mining*. Latin America Transactions, IEEE, Vol. 14 no. 6. ISSN 1548-0992. 2018.
- [9] De Weerd, J., Schupp, A., Vanderloock, A., & Baesens, B. *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. 2013.
- [10] Cuartas, H. S. *Estandarización en los procesos de producción en la empresa Construcciones Cuartas*. 2012.
- [11] Adriansyah, A. *Replay a Log on Petri Net for Performance/ Conformance Plug-in*. Technische Universiteit Eindhoven. 2012.
- [12] Adriansyah, A. & van der Aalst, W.M.P. *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. 2012.
- [13] van der Aalst, W. M., Ter Hofstede, A. H., & Weske, M. *Business process management: A survey*. In *Business process management* (pp. 1-12). Springer Berlin Heidelberg. 2003.
- [14] van der Aalst, W. M., & Van Dongen, B. F. *Discovering Petri Nets from Event Logs*. T. Petri Nets and Other Models of Concurrency. Vol. 7, p. 372-422. 2013.
- [15] Leemans, S. J., Fahland, D., & van der Aalst, W. M. *Discovering block-structured process models from event logs containing infrequent behaviour*. In *Business Process Management Workshops*, Springer International Publishing, p. 66-78. 2013.
- [16] Buijs, J. C., Van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. *On the role of fitness, precision, generalization and simplicity in process discovery*. In *On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2012*, Springer Berlin Heidelberg, p. 305-322. 2012.
- [17] Orellana, A., Armenteros, O. U. L., Ramirez, Y. E. P., & Alfonso, D. P. *Inductive visual miner plugin customization for the detection of eventualities in the processes of a hospital information system*. IEEE Latin America Transactions, Vol. 14 no.4, p1930-1936. 2016.
- [18] 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. *Business process mining: An industrial application*. Information Systems, Vol. 32 no. 5, p. 713-732. 2007.
- [19] Alves De Medeiros, A.K., Weijters, A.J.M.M. & van der Aalst, W.M.P., *Genetic Process Mining: An Experimental Evaluation*. Vol. 14, no. 2, p. 245-304. 2007.
- [20] Sol'e, M. and Carmona, J. *Process Mining from a Basis of State Regions*. In *Applications and Theory of Petri Nets*. In: Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag. p. 226-245. 2010.



Arturo Orellana García Graduado de Ingeniero en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas UCI, La Habana, Cuba en el año 2012. Máster en Informática Aplicada en 2015 y Doctor en Ciencias Técnicas en 2016. Investigador de la Minería de Procesos y la Informática Médica.



Carlos Dávila Lima Graduado de Ingeniero en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas UCI, La Habana, Cuba en el año 2016. Investigador de Minería de procesos y desarrollador de software de salud en la UCI.



Ilsen León Herrera Graduado de Ingeniero en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas UCI, La Habana, Cuba en el año 2016. Investigador de Minería de procesos y profesor de Cálculo en la Facultad 2 de la UCI.