



Universidad de las Ciencias Informáticas
Facultad 2

Trabajo de Diploma para optar por el Título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas

**VISTA DE ANÁLISIS PARA IDENTIFICAR CUELLOS DE
BOTELLA EN LA EJECUCIÓN DE LOS PROCESOS DEL
SISTEMA XAVIA HIS**

Autores

Ilse León Herrera
Carlos Dávila Lima

Tutor

MSc. Arturo Orellana García

Co-tutores

Ing. Adrián Sosa Benítez
Ing. Ernesto Cabrera Viciano

La Habana, 13 de junio de 2016

“Año 58 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos ser los únicos autores del trabajo de diploma “Vista de análisis para identificar cuellos de botella en la ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS” y autorizamos al Centro de Informática Médica de la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de _____ del año 2016.

Ilsen León Herrera

Firma del Autor

Carlos Dávila Lima

Firma del Autor

Ing. Ernesto Cabrera Viciano

Firma del Co-Tutor

Ing. Adrián Sosa Benítez

Firma del Co-Tutor

MSc. Arturo Orellana García

Firma del Tutor

“Nada tiene tanto poder para ampliar la mente como la capacidad de investigar de forma sistemática y real todo lo que es susceptible de observación en la vida”.

Marco Aurelio

DATOS DE CONTACTO

MSc. Arturo Orellana García (aorellana@uci.cu): graduado de Ingeniería en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas en el año 2012. Graduado de Máster en Informática Aplicada en 2015. Labora en el Centro de Informática Médica (CESIM). Se desempeña como tutor de las asignaturas PP4 a PP7 y ha sido analista de los proyectos SIAPS, Telemedicina Domiciliaria y Ensayos Clínicos del Centro de Informática Médica. Ha tutorado 4 trabajos de diploma y co-tutorado 2 trabajos de diploma. Realiza investigaciones de minería de datos y minería de procesos con resultados científicos en el área. Autor de varias publicaciones indexadas sobre la aplicación de la minería de procesos en el sector hospitalario.

DEDICATORIA

Isen

A mis padres, Deyci e Ibrahim, a quienes les debo todo lo que soy.

A mi hermano Ibrahim, ejemplo para mí, que me ha dado su apoyo toda la vida.

A mi familia y amigos, que incondicionalmente están siempre conmigo.

A todos las personas de las que recibí un consejo para cada camino que emprendía.

Carlos

A mis padres por su apoyo incondicional y por brindarme su ejemplo para alcanzar mis sueños.

A mis abuelos y mi tía por sus consejos y su amor, los quiero con la vida.

A mi hermana y mis sobrinos, sé que se preocupan por mí y espero poder verlos pronto.

A mis amigos por acompañarme siempre, tanto en las verdes como en las maduras.

A todos los que de una forma u otra aportaron su granito de arena para que yo llegara hasta aquí.

RESUMEN

Los servicios sanitarios presentan disímiles retos, uno de los problemas que ocurren diariamente en los hospitales son los cuellos de botella. Estos provocan anomalías o eventualidades en el flujo de los procesos, afectando directamente la calidad de la atención a los pacientes. Las organizaciones de salud procuran aplicar un enfoque de gestión por procesos y el uso de diferentes tecnologías con el fin de mejorar su rendimiento. La minería de procesos es una tecnología para el análisis de procesos, la cual posibilita identificar características y problemas asociados a la ejecución de los procesos desde sistemas de información.

En la literatura analizada se evidencia que mediante la aplicación de algunas de las técnicas de minería de procesos, pueden ser identificados posibles cuellos de botella en los sistemas de información de salud. El sistema XAVIA HIS de la UCI tiene las características necesarias para contribuir a la identificación de cuellos de botella aplicando minería de procesos. La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar e incorporar una vista de análisis para identificar cuellos de botella desde el sistema XAVIA HIS. Para ello se seleccionó y personalizó la técnica Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance sobre dicho sistema.

La vista de análisis desarrollada e incorporada al sistema, permitirá realizar análisis de la ejecución de los procesos de las instituciones sanitarias. Se espera que a partir de la propuesta de solución se beneficien los profesionales y los pacientes de la institución hospitalaria, y así incrementar la calidad de los servicios que se prestan.

Palabras clave: cuellos de botella, minería de procesos, salud, sistema XAVIA HIS, técnicas.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN1

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN7

1.1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES7

 1.1.1. *Proceso de negocio*7

 1.1.2. *Gestión basada en procesos*7

 1.1.3. *Cuellos de botella*8

 1.1.4. *Minería de procesos*8

 1.1.5. *Registro de eventos*.....9

 1.1.6. *Petri Net*11

1.2. APLICACIÓN DE LA MINERÍA DE PROCESOS EN EL SECTOR DE LA SALUD12

1.3. SOLUCIONES EXISTENTES A NIVEL INTERNACIONAL Y NACIONAL14

 1.3.1. *Técnicas para la detección de cuellos de botella en el marco de trabajo ProM*.....18

1.4. AMBIENTE DE DESARROLLO22

 1.4.1. *Lenguaje*.....22

 1.4.2. *Tecnologías a utilizar*.....22

 1.4.3. *Herramientas a utilizar*.....25

CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....27

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA XAVIA HIS27

 2.1.1. *Descripción de la arquitectura*.....28

 2.1.2. *Patrones de diseño*.....29

2.2. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN31

2.3. MODELO CONCEPTUAL DE LA HERRAMIENTA PARA DETECTAR VARIABILIDAD31

2.4. REPLAY A LOG ON PETRI NET FOR PERFORMANCE/CONFORMANCE32

 2.4.1. *Entradas*33

 2.4.2. *Medidas y métricas*.....39

 2.4.3. *Salidas*.....39

 2.4.4. *Algoritmo utilizado por la técnica*42

2.4.5. Estadísticas y filtros	43
2.5. INTEGRACIÓN CON EL XAVIA HIS.....	44
2.5.1. Métricas configuradas para la integración.....	47
2.5.2. Punto de Entrada: generación del registro de eventos.....	48
2.5.3. Obtención de una Petri Net.....	49
2.5.4. Obtención del manifiesto	50
2.5.5. Visualización de los resultados	50
CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	52
3.1. APLICACIÓN DE UN CASO DE ESTUDIO	52
3.2. PRUEBAS DE RENDIMIENTO	57
3.3. ÍNDICE DE SATISFACCIÓN GRUPAL.....	58
3.3.1. Aplicación de la técnica ladov para medir satisfacción.....	60
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Estructura de un registro de eventos.....9

Figura 2. Estructura de una simple *Petri Net*. 12

Figura 3. Ejemplo de Petri Net que representa el proceso pre hospital generada en ProM. 16

Figura 4. Ejemplo de visualización de FPD. 18

Figura 5. Modelo de proceso generado con IvM..... 19

Figura 6. Visualización “*Performance Projection to Model*” perteneciente a la técnica “*Replay P/C*”.20

Figura 7. Patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador. 29

Figura 8. Flujo de información del uso de la Herramienta para detección de variabilidad.....32

Figura 9. Vista de selección de entradas para la técnica “*Replay P/C*”..... 33

Figura 10. Construcción de una Petri Net por la técnica Mine for a Petri Net using Alpha-algorithm. 34

Figura 11. Construcción de una *Petri Net* por la técnica *Mine for a Petri Net using ILP*..... 35

Figura 12. Construcción de una *Petri Net* por la técnica *Mine Petri net with Inductive Miner*. 36

Figura 13. Equilibrio de las cuatro dimensiones de la calidad..... 37

Figura 14. Construcción de un “*Flower model*” por la técnica *Mine Petri net using Flower Miner*. 38

Figura 15. Comparación del equilibrio de las técnicas seleccionadas sobre las dimensiones de calidad. .38

Figura 16. Vista estándar “*Projects Alignments to Log*”. 39

Figura 17. Visualización por defecto “*Performance Projection to Model*”. 40

Figura 18. Visualización “*Project Manifest to Model for Conformance*” 41

Figura 19. Visualización “*Trace Alignment of Manifests*” 41

Figura 20. Visualización “*Synchronous Transitions Analysis*”. 42

Figura 21. Vista del panel de estadísticas. 43

Figura 22. Incorporación de la técnica “*Replay P/C*” a la Herramienta para detección de variabilidad.....44

Figura 23. Área para la entrada de datos del componente de extracción. 48

Figura 24. Sección de un registro de eventos generados desde el sistema XAVIA HIS. 49

Figura 25. Vista de análisis incorporada al sistema XAVIA XIS. 51

Figura 26. Diagrama de Procesos del Negocio proceso Solicitar producto..... 52

Figura 27. Petri Net generada con la técnica *Mine Petri Net with Inductive Miner*. 53

Figura 28. Configuración de las métricas para aplicar la técnica “*Replay P/C*” desde ProM..... 54

Figura 29. Configuración de atributo “ <i>timestamp</i> ” para realizar análisis de rendimiento.	54
Figura 30. Visualización de un cuello de botella en el proceso Solicitar producto.....	54
Figura 31. Tabla que muestra la información referente a tiempos de espera, estadía y procesamiento. ...	55
Figura 32. Panel de configuración representar información en transiciones, lugares y arcos.	55
Figura 33. Vista de análisis incorporada al sistema XAVIA HIS.....	56
Figura 34. Distribución de la satisfacción de usuarios con respecto a la vista de análisis desarrollada.	60
Tabla 1. Ejemplos de productos de software con capacidades de minería de procesos.....	17
Tabla 1.1. Características de las técnicas que permiten detectar cuellos de botella.	21
Tabla 2. Tiempo de ejecución de la técnica integrada.	57
Tabla 3. Cuadro Lógico de ladov.....	58

INTRODUCCIÓN

Los servicios de salud deben proporcionar atenciones sanitarias de alta calidad con costes controlados, utilizando como herramienta para lograr estos objetivos la gestión por procesos. Esta forma de gestión procura asegurar de forma ágil y sencilla la solución de los problemas en los servicios de salud y según (Paneque, 2002), tiene una visión centrada en el paciente, en las personas que prestan los servicios y en el proceso asistencial en sí mismo. La gestión por procesos proporciona un conjunto de técnicas, herramientas y estrategias que permiten mejorar de manera continua las funciones realizadas en una institución hospitalaria. “Un resultado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos se gestionan como un proceso” (ISO 9000, 2005).

La transición de los pacientes por los procesos (i.e. ambulatorios, de emergencias, quirúrgicos o de internación) está caracterizada por flujos lentos y/o circuitos complejos donde los pacientes detienen su avance. Las esperas prolongadas, los lentos trámites, el “estacionamiento” en los pasillos de las salas de emergencias, la demora en las autorizaciones y la cancelación de servicios, son algunas de las causas de la aparición de cuellos de botella. Una restricción o cuello de botella se presenta cuando una actividad de proceso posee una capacidad de respuesta inferior a la cantidad de entradas que recibe, debido a ineficiencias en la gestión de los recursos o insuficiente personal sanitario.

Investigaciones asociadas a la existencia de cuellos de botella en la ejecución de procesos sanitarios muestran la importancia que tiene su detección y análisis para la mejora continua del proceso de atención y la satisfacción del paciente. Un estudio comprendido entre los años 2012 y 2013 en Estados Unidos sobre la atención a pacientes en casi 3 700 salas de emergencias, concluyó que los pacientes admitidos pasaron un promedio de cuatro horas en emergencias, mientras que los no admitidos esperaron como promedio media hora (Mozes, 2014). Una investigación en Culiacán, México, obtuvo como resultado que 6 de cada 10 pacientes espera entre una y más de tres horas para que lo atienda el médico (Sánchez et al., 2013). En (IHME, 2014) se desarrollaron estudios similares sobre los tiempos de espera respecto a la atención a pacientes en instalaciones hospitalarias de Uganda. En Cuba luego de un análisis documental no se identificaron registros o estudios referentes a los cuellos de botella en instituciones sanitarias.

Los cuellos de botella formados en las instituciones hospitalarias traen consigo un conjunto de dificultades e insuficiencias en los servicios que se brindan, se identificaron los siguientes efectos de este tipo de restricción:

- Afectan el flujo de ejecución de los procesos asistenciales.
- Provocan un aumento de los tiempos de espera y el costo de atención.
- Se cancelan servicios debido a tardanzas en el envío de insumos clínicos y en ocasiones los pacientes no son atendidos.
- Propician la ocurrencia de saltos en el flujo definido de ejecución de procesos hospitalarios.
- Ocasionan tanto descontento como quejas en el personal de salud y los pacientes.

Los envíos de órdenes médicas incorrectas o con productos faltantes, podrían provocar inestabilidad y demoras en la ejecución de los procesos, los tiempos de respuesta y la calidad de los servicios que se prestan. La identificación de las causas de los problemas anteriormente mencionados en las actividades de proceso, permite tomar medidas para optimizar su flujo de ejecución. El análisis de la frecuencia de realización de determinadas actividades, permite apoyar y tomar decisiones sobre las áreas más afluentes de las instituciones hospitalarias en determinados horarios. En la literatura consultada se identificaron entre las tecnologías más aplicadas para el análisis de procesos la simulación y la minería de procesos.

La relación inversa entre modelos y comportamientos lleva al hecho de que la minería de procesos no presenta una limitante que la simulación posee en relación a la detección de cuellos de botella. La utilidad de la simulación varía con la veracidad del modelo. Para los procesos simples y estables esto puede funcionar, sin embargo, conocer y capturar todas las influencias relevantes sobre el comportamiento de procesos complejos resulta difícil. En la minería de procesos, los cuellos de botella y los problemas no tienen que ser conocidos de antemano. Pueden ser observados e investigados a partir de los datos objetivos. "¿Por qué el trabajo siempre se acumula antes de la actividad X?" Las causas principales pueden estar en la estructura incentiva, problemas de las personas, sobrecarga, o el clima. (Rozinat, 2011)

La minería de procesos es una disciplina de investigación que permite descubrir, monitorear y mejorar procesos reales a partir de la extracción de conocimientos de los registros de eventos disponibles en los actuales 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. (van der Aalst et al., 2011)

Para realizar análisis de minería de procesos es necesario hacer uso de herramientas orientadas a esta finalidad (ProM y Disco), 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 (van der Aalst et al., 2011), 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 (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. Ejemplos de ello lo constituyen (Orellana et al., 2015):

- 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 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 (Orellana et al., 2014); (Orellana, 2015). Además, se desarrollaron un conjunto de personalizaciones 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.

El sistema XAVIA HIS tiene las características y los datos necesarios para realizar estudios que propicien la identificación de cuellos de botella, sin embargo no tiene los mecanismos implementados que permitan mostrar explícitamente su existencia.

Por lo anteriormente planteado se define como **problema a resolver**: ¿cómo identificar cuellos de botella desde el sistema XAVIA HIS en la ejecución de sus procesos, a partir del registro de eventos?

El problema está centrado en el **objeto de estudio**: la minería de procesos para el análisis de tiempo, enmarcado en el **campo de acción**: las técnicas de minería de procesos para la identificación de cuellos de botella en sistemas de información hospitalaria.

Para solucionar el problema planteado, se define como **objetivo general**: desarrollar una vista de análisis para el sistema XAVIA HIS, que permita la identificación de cuellos de botella en la ejecución de sus procesos.

Se proponen las siguientes **tareas de la investigación**:

1. Elaboración del marco teórico metodológico referente a los cuellos de botella en la ejecución de procesos, la minería de procesos y los conceptos asociados al objeto de estudio para conformar la base teórica de la investigación.
2. Análisis de herramientas y tecnologías que permiten identificar cuellos de botella en procesos de negocio para la selección de las más apropiadas en el entorno hospitalario.
3. Desarrollo de una vista de análisis para la identificación de cuellos de botella en la ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS.
4. Incorporación de la vista de análisis desarrollada a la Herramienta para la detección de variabilidad del sistema XAVIA HIS con el objetivo de contribuir a la toma de decisiones en cuanto a la ejecución de sus procesos.
5. Validación de la vista de análisis desarrollada para constatar que la técnica integrada contribuye a la identificación de los cuellos de botella desde el sistema XAVIA HIS.

Los **métodos científicos** utilizados para desarrollar la investigación fueron:

Métodos teóricos:

- Análisis histórico-lógico: se utilizó para analizar el surgimiento y evolución de la minería de procesos para una mejor comprensión del objeto y campo de estudio y lograr una perspectiva personalizada de los procesos.
- Analítico-sintético: se puso en práctica realizando un estudio de las principales técnicas y herramientas existentes que son utilizadas para detectar cuellos de botella en las actividades de proceso.
- Inductivo-deductivo: se utilizó en la aplicación de casos de pruebas al sistema, llegando a conclusiones a partir de las respuestas proporcionadas por este.

Métodos empíricos:

- Observación: como instrumento para adquirir conocimiento sobre el campo de acción a través de la investigación directa de las herramientas.
- Encuesta: fue aplicada para conocer los efectos de los cuellos de botella en instituciones sanitarias.
- Iadov: Para evaluar y corroborar por potenciales usuarios, la factibilidad y pertinencia de la herramienta propuesta.

Con el desarrollo de la investigación se esperan los siguientes **beneficios**:

Una vista de análisis que represente en un modelo de procesos en forma de Petri Net, ambientado con una escala de colores intuitivo, los posibles cuellos de botella en la ejecución de los procesos del Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS. Se pretende, al incorporar esta vista a la Herramienta para la detección de variabilidad, ofrecerle al usuario final una opción más de análisis, con el fin de tomar decisiones administrativas y apoyar en la implementación de los objetivos estratégicos, la planificación y el control de los recursos.

El documento está estructurado en tres capítulos, siendo estos:

El **Capítulo 1. Fundamentación teórica de la investigación**, trata los conceptos fundamentales sobre los diferentes elementos en la que se basa la presente investigación, incluye un análisis del estado del arte, a nivel nacional e internacional de sistemas que permitan realizar análisis de procesos desde una

perspectiva temporal y se hace una descripción de las tecnologías y herramientas usadas para el desarrollo de la vista de análisis propuesta.

El **Capítulo 2. Propuesta de solución**, describe la propuesta de solución, junto a la modelación del flujo de información de la herramienta a la que se propone la incorporación de la vista de análisis desarrollada, se describen los patrones arquitectónicos y los de diseño empleados; se realiza una explicación de la técnica utilizada y del procedimiento seguido para el desarrollo de la vista de análisis.

Por último, en el **Capítulo 3. Validación de la solución propuesta**, se valida la aplicación, a partir de los métodos definidos.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo abordar los diferentes elementos que brindan la base teórica y conceptual para el desarrollo de la solución propuesta; valorándose de forma crítica las tendencias y tecnologías actuales, así como los antecedentes asociados al campo de acción. Se realiza un análisis de las principales características de las técnicas de minería de procesos propuestas para la solución del problema, reflejando sus potencialidades y limitantes. De este modo, se podrá realizar una correcta interpretación de la situación problemática y del problema a resolver.

1.1. Conceptos fundamentales

Para obtener una mejor comprensión del dominio del problema, a continuación, son descritos los conceptos asociados al mismo.

1.1.1. Proceso de negocio

Según el conjunto de Normas ISO 9000 (2004) un “proceso” puede definirse como un “conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”. Estas actividades requieren la asignación de recursos tales como personal y material. (NC/ISO-9000, 2004)

Los elementos de entrada y los resultados previstos pueden ser tangibles (equipos o materiales) o intangibles (energía o información). Los resultados también pueden ser no intencionados (el desperdicio o la contaminación ambiental).

“Un proceso de negocio es un conjunto estructurado medible de actividades diseñadas para producir un producto especificado para un cliente o mercado específico. Implica un fuerte énfasis en cómo se ejecuta el trabajo dentro de la organización, en contraste con el énfasis característico de la focalización en el producto”. (Davenport, 1993)

1.1.2. Gestión basada en procesos

Con el fin de obtener resultados eficientes constituye una prioridad mejorar la administración y desempeño organizacional a través de la incorporación de la gestión o enfoque basado en procesos. El Enfoque

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Basado en Procesos es un concepto que aparece en los años 90 del pasado siglo como principio de gestión básico y fundamental para la obtención de resultado, el mismo permite dar seguimiento a los procesos, permitiendo detectar errores, redundancias y gestionar los procesos interrelacionados.

La Gestión de Procesos de Negocio (BPM, por sus siglas en inglés) es la disciplina que combina conocimiento sobre tecnología de información y conocimiento sobre las ciencias de gestión y lo aplica en conjunto a los procesos de negocio operacionales (van der Aalst et al., 2011). Permite diseñar, ejecutar, controlar y analizar procesos operacionales cuyo objetivo es mejorar el desempeño y la optimización de los procesos de negocio de una organización. A partir de BPM surgen los Sistemas de Administración de Procesos de Negocios (BPMS, por sus siglas en inglés), para permitir el entendimiento de la organización y su desempeño a todos los interesados.

1.1.3. Cuellos de botella

En (Casas, 2010) se define que “los cuellos de botella son las actividades que disminuyen la velocidad de los procesos, incrementan los tiempos de espera y reducen la productividad, trayendo como consecuencia final el aumento en los costos.” Una restricción o cuello de botella en los procesos sanitarios se presenta cuando una actividad de proceso tiene una capacidad de respuesta inferior a la cantidad de entradas que recibe, debido a ineficiente gestión de los recursos o insuficiente personal sanitario.

1.1.4. Minería de procesos

La minería de procesos es una disciplina que tiene por objeto la detección y extracción automática de la información valiosa desde los registros de eventos que son generados durante la ejecución de los procesos de negocio y su definición es la siguiente (van der Aalst et al., 2011):

La minería de procesos es una disciplina de investigación relativamente joven que se ubica entre la inteligencia computacional y la minería de datos¹, por una parte, y la modelación y análisis de procesos, por otra. La idea de la minería de procesos es descubrir, monitorear y mejorar los procesos reales a través de la extracción de conocimiento de los registros de eventos disponibles en los actuales sistemas de

¹ Minería de datos: análisis de conjuntos de datos (a menudo grandes) para encontrar relaciones inesperadas y para resumir los datos de manera que proporcionen nuevos entendimientos. (van der Aalst, W.M.P. et al. 2011)

información. Su aplicación ayuda a identificar cuellos de botella, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas y simplificar procesos.

1.1.5. Registro de eventos

El registro de eventos es la colección de eventos utilizados como entrada para la minería de procesos. Las técnicas de minería de procesos asumen que es posible registrar eventos secuencialmente (van der Aalst et al., 2011), donde cada proceso está compuesto por casos que no son más que instancias del mismo. Un caso consiste en eventos que representan pasos bien definidos dentro del proceso; los eventos poseen atributos, entre los atributos más usados se encuentran: actividad, recursos, costo y tiempo.

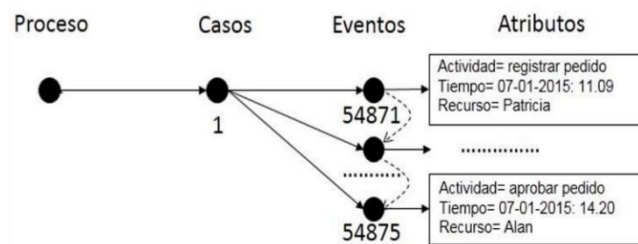


Figura 1. Estructura de un registro de eventos.
Fuente: (Orellana, 2015b)

Para asegurar un análisis de minería de procesos exitoso, además del formato de almacenamiento del registro de eventos se debe garantizar su calidad. La misma se define a partir de tres aspectos fundamentales: confiabilidad, completitud y seguridad. La confiabilidad consiste en que los eventos deben ser confiables, es decir, debería ser seguro asumir que los eventos registrados realmente ocurrieron y que los atributos de los eventos son correctos. La completitud se relaciona a que los registros de eventos deberían ser completos, dado un determinado contexto, no puede faltar ningún evento. También, cualquier evento registrado debe tener una semántica bien definida. Por otra parte, los datos de eventos son seguros, si se tienen en cuenta consideraciones de privacidad y seguridad al registrar los eventos. (van der Aalst et al., 2011)

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Niveles de madurez

La combinación de los tres aspectos de calidad se refleja en los niveles de madurez definidos en el Manifiesto sobre Minería de Procesos para los registros de eventos (van der Aalst et al., 2011):

Nivel 1: los eventos se registran manualmente, los eventos registrados podrían no corresponder a la realidad y podrían faltar eventos.

Nivel 2: los eventos se registran automáticamente, no se sigue un enfoque sistemático para decidir qué eventos se registran, podrían faltar eventos o estos podrían no registrarse correctamente.

Nivel 3: los eventos se registran automáticamente, pero no se sigue un enfoque sistemático para registrar los eventos. Hay un nivel de garantía de que los eventos registrados calzan con la realidad (el registro de eventos es confiable pero no necesariamente completo).

Nivel 4: los eventos se registran automáticamente y de manera sistemática y confiable, a diferencia del nivel 3 da soporte de manera explícita a nociones tales como instancia de proceso (caso) y actividad.

Nivel 5: el registro de eventos es de excelente calidad (confiable y completa) y los eventos están bien definidos. Los eventos se registran de manera automática, sistemática y segura. Se toman en cuenta adecuadamente consideraciones acerca de la privacidad y la seguridad.

Las técnicas de minería de procesos pueden ser aplicadas a registros de eventos en nivel 5, nivel 4 y nivel 3. En principio, también es posible aplicar minería de procesos utilizando registros de eventos en nivel 2 o nivel 1. Sin embargo, el análisis de dichos registros de eventos es generalmente problemático y los resultados no son confiables. De hecho, no tiene mucho sentido aplicar minería de procesos a registros de eventos en el nivel 1. Para obtener beneficio, las organizaciones deben apuntar a registros de eventos en el nivel de calidad más alto posible. (van der Aalst et al., 2011)

Los registros de eventos suelen poseer características entre las que se encuentran el ruido y la ausencia de información (De Weerd et al., 2012). En la presente investigación se asumen las definiciones de ruido (Definición 1) y ausencia de información (Definición 2).

Definición 1 Ruido: Comportamiento reflejado en las trazas y que rara vez ocurre, que es excepcional o poco frecuente, es decir, que no se corresponde con el comportamiento típico observado en el proceso. (van der Aalst, 2011)

Definición 2 Ausencia de información: Ausencia en las trazas de una o varias actividades ejecutadas como parte de las instancias del proceso, debido a que estas no pueden ser registradas por los sistemas informáticos usados. A este tipo de actividad se le denominará actividad invisible. (Yzquierdo et al., 2013)

1.1.6. Petri Net

Una *Petri Net* es un tipo particular de grafo dirigido bipartito, poblada por tres tipos de objetos. Estos objetos son estados (también llamados lugares), transiciones y arcos dirigidos. Arcos dirigidos conectan a estados con transiciones o transiciones a los estados. En su forma más simple, una *Petri Net* puede ser representada por una transición junto con un lugar de entrada y un lugar de salida. Esta red primaria se puede usar para representar varios aspectos del modelado de sistemas. Por ejemplo, una transición y su lugar de entrada y el lugar de salida se pueden utilizar para representar un evento de procesamiento de datos, sus datos de entrada y los datos de salida, respectivamente, en un sistema de procesamiento de datos. Con el fin de estudiar el comportamiento dinámico de un sistema de modelado de una *Petri Net* en términos de sus estados y cambios de estado, cada estado potencialmente puede contener ya sea ninguno o un número positivo de *tokens*. Las *tokens* son un concepto primitivo de las *Petri Net*, además de estados y transiciones. La presencia o ausencia de un contador en un lugar pueden indicar si una condición asociada con este lugar es verdadera o falsa, por ejemplo:

Una *Petri Net* se define formalmente como una 5-tupla $N = (P, T, I, O, M_0)$, donde (Wang, 2007):

- 1) $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ es un conjunto finito de lugares;
- 2) $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ es un conjunto finito de transiciones, $P \cup T \neq \emptyset$, and $P \cap T = \emptyset$;
- 3) $I: P \times T \rightarrow N$ es una función de entrada que define arcos dirigidos de estados para transiciones, donde N es una colección de enteros no negativos;
- 4) $O: T \times P \rightarrow N$ es una función de salida que define arcos dirigidos de transiciones a estados; y
- 5) $M_0: P \rightarrow N$ es la marca inicial.

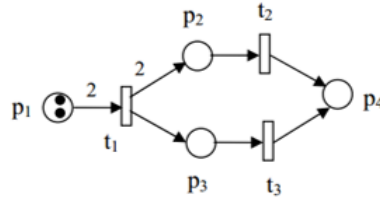


Figura 2. Estructura de una simple *Petri Net*.
Fuente: (Wang, 2007)

En la Figura 2 se muestra una representación de una *Petri Net*, la cual se describe a continuación:

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4\};$$

$$T = \{t_1, t_2, t_3\};$$

$$I(t_1, p_1) = 2, I(t_1, p_i) = 0 \text{ para } i = 2, 3, 4;$$

$$I(t_2, p_2) = 1, I(t_2, p_i) = 0 \text{ para } i = 1, 3, 4;$$

$$I(t_3, p_3) = 1, I(t_3, p_i) = 0 \text{ para } i = 1, 2, 4;$$

$$O(t_1, p_2) = 2, O(t_1, p_3) = 1, O(t_1, p_i) = 0 \text{ para } i = 1, 4;$$

$$O(t_2, p_4) = 1, O(t_2, p_i) = 0 \text{ para } i = 1, 2, 3;$$

$$O(t_3, p_4) = 1, O(t_3, p_i) = 0 \text{ para } i = 1, 2, 3;$$

$$M_0 = (2 \ 0 \ 0 \ 0)T$$

1.2. Aplicación de la minería de procesos en el sector de la salud

La investigación sobre la minería de procesos en los sistemas hospitalarios es relativamente joven. En esta sección se analizan investigaciones de relevancia y aportes de la minería de procesos aplicada al entorno hospitalario. Los procesos asistenciales se caracterizan por el hecho de que varias unidades organizativas pueden estar involucradas en el proceso de tratamiento de los pacientes y a menudo estas tienen sus propias aplicaciones informáticas específicas, por tanto, la obtención de datos relacionados con los procesos de cuidado de la salud no es una tarea fácil. A pesar de esto, los sistemas utilizados en los hospitales necesitan proporcionar una visión integrada de todas estas aplicaciones, ya que es necesario garantizar que el hospital preste el mejor servicio a cada paciente. En consecuencia, este tipo de sistema contiene información relacionada con la ejecución de sus procesos y por lo tanto pueden contar con los datos necesarios para la aplicación de la minería de procesos. El registro de eventos es la base para la minería de procesos. La disponibilidad y la calidad de los datos son clave para ser capaz de aplicar las técnicas de minería de procesos (Mans et al., 2015). Actualmente la minería de procesos está siendo

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

aplicada en hospitales de gran importancia, ejemplo de esto lo constituyen el Hospital San Sebastián en Santa María da Feira, Portugal, el Hospital General de Chania, Grecia, hospitales alemanes, y en varios hospitales académicos de Holanda (Rozinat, 2011b); (Rozinat, 2011c); (Rozinat, 2013).

La mejora de procesos puede lograr al mismo tiempo un aumento de la calidad y un menor costo en su ejecución. Los procesos sanitarios eficientes son muy relevantes, ya que los tratamientos a los pacientes presentan una carga significativa en nuestra sociedad. Sin embargo, la necesidad de gestión de tener una visión clara de los procesos reales y la adquisición de abstracciones útiles de la situación existente es imprescindible. La administración debe tener el potencial para resumir los procesos de la organización, manejar el ruido y los valores extremos, el resumen de las fluctuaciones y los casos aislados que desfavorecen la toma de decisiones.

La minería de procesos se centra en el descubrimiento de caminos de atención seguidos por los pacientes, de los aspectos de organización y de la información relacionada con el rendimiento, aspecto que demuestra la diversidad de técnicas de minería de procesos disponibles (Mans et al., 2015). La minería de redes sociales, el análisis de rendimiento, conformidad, descubrimiento de ruido y desviaciones pueden descubrir las anomalías y la variabilidad, con el fin de ayudar a las organizaciones de salud a tomar mejores decisiones desde el análisis de procesos. Además es posible determinar el tiempo total que demora la atención a un paciente y los servicios médicos que representan cuellos de botella, que interrumpen el funcionamiento de otros procesos dentro de las instituciones sanitarias (Cruz et al., 2014).

Los mayores retos para la aplicación de la minería de procesos para los procesos de atención son su complejidad, heterogeneidad, su carácter multidisciplinario, su cambio constante, y los datos de registro de los sistemas de TI (Rozinat, 2011a). Al mismo tiempo, todavía hay muchas actividades manuales que no son observables. Por otra parte, las entradas de datos a menudo se hacen manualmente después que se ha producido realmente una actividad. Con el tiempo, los sistemas de información del hospital van a evolucionar, y con el aumento de la integración y la automatización, la disponibilidad de datos y la calidad va a mejorar.

Posibles beneficios y desafíos de aplicar la minería de procesos en un sector crítico de la sociedad, como lo es la atención sanitaria son tratados por van der Aalst en (van der Aalst et al., 2011). Además, en investigaciones realizadas, se evidencia que es una tecnología novedosa y efectiva para la obtención y análisis de procesos hospitalarios. Su uso en casos reales de procesos de ginecología y oncología (Mans

et al., 2008) permitió optimizar, a partir de un gráfico de puntos, la trayectoria de los pacientes por el proceso de atención. Tras descubrir horarios de mayor afluencia en el área de Emergencias permitió controlar y destinar recursos a este servicio. En (Webster, 2011) se investigó sobre la gestión de los procesos de negocios en las Hojas Clínicas Electrónicas (EHR, por sus siglas en inglés), donde se demostró la importancia de la minería de procesos como un nuevo método para mejorar los procesos de cuidado a pacientes. En (Rebuge et al., 2011) se realizó un estudio referente a la aplicación de minería de procesos a sistemas de información de hospitales en Lisboa. Se analizaron los flujos de atención a pacientes del área de emergencia, que involucran actividades que comprenden el orden de prioridad, tratamientos, diagnósticos, exámenes médicos, y seguimiento. Se dieron respuestas a las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es el comportamiento regular en el flujo de trabajo de radiología?
2. ¿Cuáles son las variantes y comportamiento infrecuente?
3. ¿Cómo es el rendimiento?
4. ¿Existen desviaciones en las guías médicas?

1.3. Soluciones existentes a nivel internacional y nacional

En la literatura consultada se identificaron un conjunto de herramientas a nivel internacional con capacidades de minería de procesos que permiten la detección de cuellos de botella. En Cuba luego de un análisis documental no se identificaron herramientas enfocadas al uso de esta tecnología. A continuación, se realiza un análisis de las principales, teniendo en cuenta los factores a los que se puede acceder, debido a la disponibilidad de algunas de ellas.

Herramientas comerciales

EMiT es una herramienta de minería de procesos. Los algoritmos utilizados para minería de proceso son altamente complejos, largos registros son necesarios para derivar un modelo de procesos de alta calidad (Li et al., 2007). Emit es una herramienta que brinda registros de eventos utilizando un formato XML estándar como entrada, este tipo de formato es altamente criticado por su nivel de detalle y complejidad de análisis. Utilizando una versión extendida del algoritmo α (van der Aalst et al., 2000), puede descubrir el modelo de procesos subyacente y representarlo en términos de *Petri Net*. Emit es una herramienta

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

primitiva y sus funciones están por debajo de la calidad de otras herramientas de minería de procesos. Actualmente esta herramienta está descontinuada.

ARIS PPM se entiende por Administrador de Funcionamiento de Procesos ARIS. Es una herramienta privativa que permite a las organizaciones observar y analizar el funcionamiento y estructura de sus procesos de negocio. ARIS PPM extrae información en tiempo de ejecución de los sistemas de origen útiles, flujos de trabajo o sistemas heredados. Ayuda a las organizaciones a acceder a sus procesos de negocio en términos de velocidad, costo cantidad, calidad y oportunidades. ARIS PPM guía la continua optimización de tus flujos de trabajo internos y externos, haciendo una contribución clave al éxito en los negocios. (Singh et al., 2014)

QPR ProcessAnalyzer es un *Software Comercial Automatizado de Descubrimiento de Procesos* finlandés que permite a las organizaciones acelerar las iniciativas de gestión de procesos de negocio, reduciendo el tiempo y los costos involucrados con las acciones de mejora de procesos. A partir del uso de los datos almacenados en los sistemas de negocio operativos, *QPR ProcessAnalyzer* muestra exactamente cómo sus procesos se ejecutan en realidad y permite analizar desde múltiples ángulos, así como profundizar en los casos individuales. (QPR SOFTWARE OYJ, 2011)

Cuenta con las funcionalidades: realizar análisis basados en hechos a partir de fracciones de tiempo, descubrir modelos de procesos para el análisis de rendimiento que permite analizar cuáles son las causas de las variaciones de procesos, descubre y elimina los cuellos de botella del proceso, mejora la eficiencia operativa y reduce los costos a través del rendimiento de los procesos y por último optimiza la toma de decisiones de forma rápida con el descubrimiento de procesos automatizados. Sin embargo sus mayores aplicaciones radican en las auditorías a sistemas y el control del flujo de información y no a los procesos hospitalarios.

Herramientas académicas

Disco (DC) es una aplicación informática de tipo escritorio orientada a la minería de procesos, basada en funcionalidades y desarrollada por la compañía holandesa Fluxicon. Es una herramienta privativa que posee una licencia gratuita limitada a fines académicos y su objetivo principal es el de apoyar a las organizaciones en el control de sus procesos. Disco realiza el descubrimiento de procesos a partir de los

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

algoritmos de minería de procesos más rápidos. Además, cuenta con funcionalidades de filtrado de actividades, caminos y otros parámetros que enriquecen el modelo de proceso con información relevante acerca de la ejecución de las actividades.

Una de las características de la herramienta Disco que puede ser catalogada de negativa es la falta de robustez ante la falta de información. Además no permite generar modelos inspirados en notación BPMN ni exportarlos a imágenes vectoriales.

ProM es un marco de trabajo de código abierto y distribuido gratuitamente. Desarrollado por un grupo de expertos de todo el mundo. Ha sido el estándar impuesto para la minería de procesos durante la última década. Permite el proceso de descubrimiento, la comprobación de la conformidad, análisis de redes sociales, la minería de organización, la minería de decisión (van der Aalst et al., 2011); (Verbeek, 2010). Es el software que concentra la mayor cantidad de técnicas que existen en minería de proceso. El marco de trabajo ProM es propicio para el desarrollo y ejecución de nuevos algoritmos por parte de la comunidad de desarrolladores (Ailenei, 2011).

La Figura 3 muestra una técnica de análisis de rendimiento de ProM el cual proyecta información de tiempo en lugares y transiciones en una *Petri Net* construida a partir de un registro de evento. Gráficamente muestra, para una parte de la *Petri Net* descubierta del proceso pre hospital, los cuellos de botella y todo tipo de indicadores de rendimiento. En particular, los cuellos de botella pueden ser identificados buscando lugares que indiquen un alto tiempo de espera hasta la próxima transición que no sea negra (Wang, 2007).

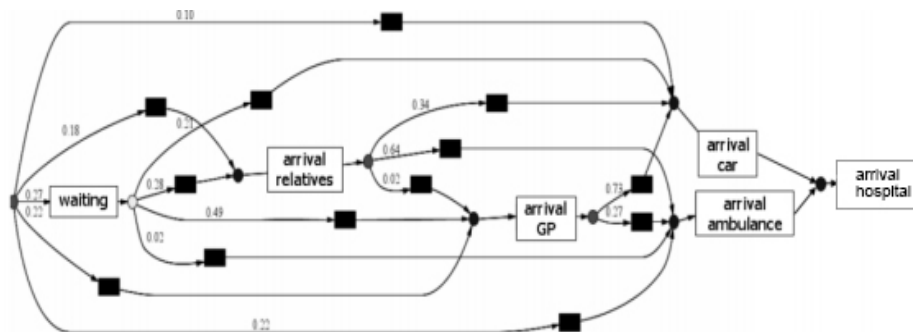


Figura 3. Ejemplo de Petri Net que representa el proceso pre hospital generada en ProM.
Fuente: (van der Aalst et al., 2008)

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Tabla 1. Ejemplos de productos de software con capacidades de minería de procesos.
(Fuente: Elaboración propia)

Herramientas/ Características	Licencia	Genérico	Comercial	Tipo de software
ProM	Libre, distribuido en partes Licencia GPL Paquetes de ProM bajo licencia L-GPL	Sí	No	Escritorio
Disco	Propietario, posee una licencia gratuita limitada con fines académicos	Sí	Sí	Escritorio
ARIS Process Performance Manager	Propietario	No	Sí	Escritorio
QPR Process-Analyzer	Propietario	No	Sí	Escritorio

Luego del análisis realizado a las técnicas y herramientas existentes, se llegó a las siguientes conclusiones:

La mayoría de los sistemas solo son factibles en un estrecho dominio que no incluye al hospitalario, como es el industrial y empresarial, además se han desarrollado bajo tecnologías privativas y a la medida, condición que limita al país la adquisición de estos sistemas y las futuras mejoras a las funcionalidades que brindan, debido a las restricciones y alto coste de sus licencias. Ejemplo de ello son las herramientas *ARIS Process Performance Manager* y *QPR Process-Analyzer*. La herramienta Disco no permite conocer el código de sus funcionalidades y estas no son modificables. Sin embargo, ProM es una plataforma independiente con un marco de trabajo de código abierto (licencia L-GPL.) que soporta una gran variedad de técnicas de minería de procesos, y permite exportar sus *plugins* u obtener su código. Esta herramienta basa su funcionamiento en el uso de paquetes que pueden ser utilizados por varias técnicas para ser aplicadas, pueden además ser extraídos y modificados para ser empleados desde otro marco de trabajo. Es por ello que la investigación se basará en las técnicas ejecutadas en el marco de trabajo ProM para la identificación de posibles cuellos de botella.

Adicionalmente ProM no está enfocado a la usabilidad por lo que es recomendable para personas que tienen conocimientos de las técnicas y algoritmos de minería de procesos, debido a que requiere cierta experiencia para seleccionar las herramientas a usar y para entender e interpretar correctamente los resultados obtenidos.

1.3.1. Técnicas para la detección de cuellos de botella en el marco de trabajo ProM

Las técnicas de minería de procesos utilizadas en el marco de trabajo ProM son multiobjetivos, pueden ser empleadas para análisis de procesos en general. Es posible realizar mediante ellas minería de redes sociales, análisis de rendimiento, conformidad, descubrimiento de eventos poco frecuentes y desviaciones que pueden descubrir las anomalías y la variabilidad existente en los procesos. No existe evidencia de estándar, procedimiento o método en la literatura consultada donde se defina para que tipo de análisis debe ser empleada cada técnica. En esta sección se realiza un análisis de las técnicas que pueden ser utilizadas para la identificación de cuellos de botella teniendo en cuenta las informaciones, indicadores y datos que brindan.

Fuzzy Performance Diagrams

Diagrama Difuso de Rendimiento (FPD, por sus siglas en inglés) es una técnica de minería de procesos desarrollada por los holandeses A. Adriansyah y B.F. van Dongen que permite la visualización de un SPD (Diagrama de Precedencia Simple), FPDs provee entendimiento en los cuellos de botella de un proceso. Está diseñado para mostrar ambos, información de rendimiento y flujo de control de un proceso en una manera simple de interpretar. En un FPD, esta información es proyectada en cada nodo del SPD (o grupo de actividades desde el registro) y en cada arista del SPD. La vía en que se realiza esta proyección es altamente influenciada el modelo difuso (Gunther et al., 2007) y las *Petri Net* extendidas (van Dongen et al., 2009). Esta técnica requiere como entrada un registro de eventos y un SPD para crear automáticamente mediante la “minería del modelo SPD” una conexión entre estos.

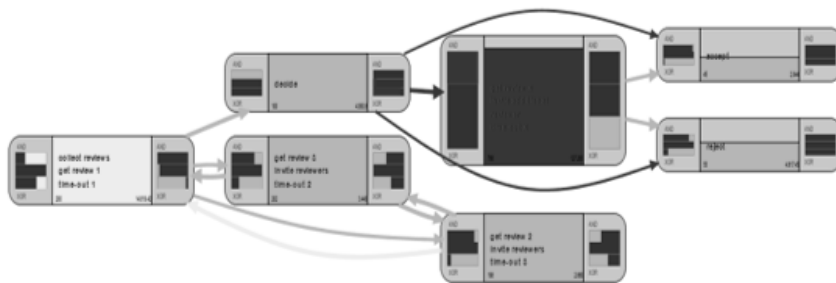


Figura 4. Ejemplo de visualización de FPD.
Fuente:(Elaboración propia)

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Un conjunto de indicadores claves de rendimiento pertenecientes a cada uno de los nodos en una FPD permiten realizar análisis referentes a los tiempos de espera, tiempos de sincronización y tiempos de procesamiento.

Inductive visual Miner

Es una técnica del marco de trabajo ProM que brinda soporte al descubrimiento desarrollado en la universidad holandesa de Eindhoven por S.J.J. Leemans. Inductive visual Miner genera modelos de procesos animados en una notación inspirada en la BPMN, lo que hace más fácil el entendimiento de los mismos por parte de los usuarios ajenos a la minería de procesos. Estos modelos permiten apreciar los cuellos de botella y las desviaciones de los procesos que se modelan, además de las actividades frecuentes e infrecuentes que los componen. Permite visualizar cuáles son las actividades con menor y mayor frecuencia de ejecución. Además IvM es un algoritmo cuyo funcionamiento se comporta con un carácter robusto ante el ruido, y tiene en cuenta la falta de información que pueda presentar el registro de eventos. (Leemans et al., 2014)

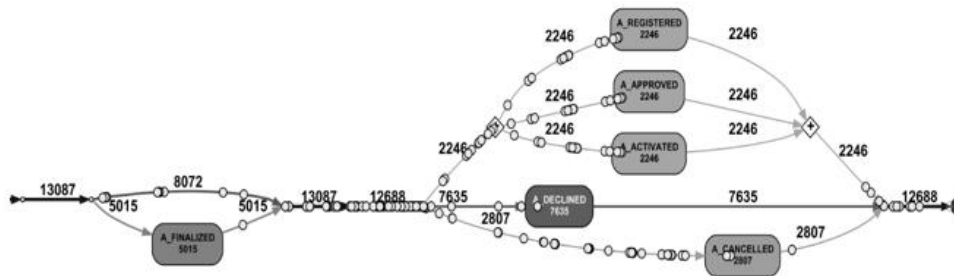


Figura 5. Modelo de proceso generado con IvM.

Fuente: (Leemans et al., 2014)

La observación de los cuellos de botella no se permite explícitamente, solo se puede inferir a partir de la animación de trazas que realiza la técnica, que en ocasiones puede ser rápida e inentendible por usuarios no expertos en la minería de procesos. *Inductive visual Miner* anima su representación sobre una *Petri Net* generada a partir de un algoritmo llamado *Inductive Miner Algorithm* utilizando la versión *Inductive Miner-infrequent*, aplicable a otras técnicas de chequeo de rendimiento, aspecto importante a tener en cuenta. Este algoritmo posee la capacidad de robustez ante el ruido y ante la falta de información, limitante que poseen los registros de evento con nivel de madurez bajo.

Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance

Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance (“*Replay P/C*”) es una técnica de chequeo de rendimiento y conformidad desarrollada por A. Adriansyah en la universidad de Eindhoven, Holanda, que posibilita identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos. Está directamente relacionada con el análisis temporal. Además, mediante una escala de colores intuitiva, clasifica las actividades por colores 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
- Generar modelo integrado mostrando los tiempos de ejecución, estadía y espera.

Esta técnica requiere como entradas una *Petri Net/Inhibitor/Reset/ResetInhibitor Net* y un registro de eventos para crear alineaciones avanzadas entre cada traza en el registro y la red (Adriansyah, 2012). La escala de colores utilizada por este *plugin* transita desde un color blanco, amarillo claro hasta un color rojo vino. A mayor oscuridad en el color mayor probabilidad de que exista un mal funcionamiento del sistema respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones en una actividad antes de transportarse hacia otra (Adriansyah et al., 2012).

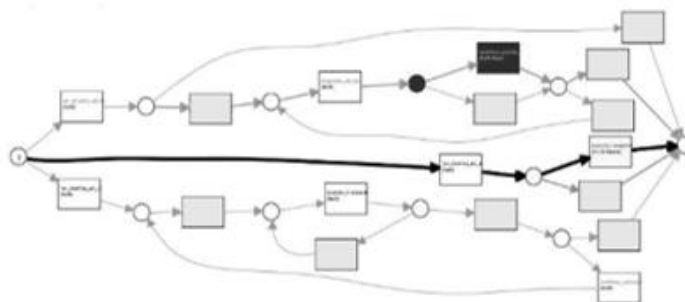


Figura 6. Visualización “*Performance Projection to Model*” perteneciente a la técnica “*Replay P/C*”.

Fuente: (Orellana et al., 2015)

Al analizar los nodos en el modelo generado, y con ayuda de la leyenda de colores del *plugin* que contiene la técnica aplicada, se puede especificar a simple vista cuáles actividades son las más críticas y cuáles

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

funcionan correctamente. Se define como actividad crítica, aquella que sobrepasa el tiempo estimado de respuesta entre una actividad y otra. Este tiempo puede ser definido por el cliente, o estimado por la técnica, teniendo en cuenta un estudio basado en el comportamiento de todas las ejecuciones anteriores de los flujos de actividades similares al que se encuentre bajo análisis.

Tabla 1.1. Características de las técnicas que permiten detectar cuellos de botella.
(Fuente: Elaboración propia)

Parámetros	FPD	IvM	Replay P/C
Licencia	LGPL	LGPL	LGPL
Plataforma	Múltiple	Múltiple	Múltiple
Tipo de representación de procesos	SPD	BPMN	<i>Petri Net</i>
Detecta cuellos de botella	Sí	Sí	Sí
Representación explícita de los cuellos de botella	No	No	Sí

El uso de la técnica FPD está condicionado al entendimiento de los diagramas difusos de rendimiento, que pueden resultar complejos, a diferencia de las *Petri Net* inspiradas en la representación de procesos BPMN (Larrea et al., 2015). Los indicadores de rendimiento no propician una visión clara de los datos correspondientes a cada una de las actividades. Por su parte, la técnica IvM aunque se basa en la representación de un modelo BPMN y puede ser utilizada para la identificación de cuellos de botella no está enfocada principalmente a este tipo de análisis. Su objetivo es la detección de desviaciones a partir de la frecuencia de ejecución. La posible identificación de cuellos de botellas es realizada a partir de una animación de trazas, representada en una escala de 20 segundos. Por lo tanto, si existiera diferencias muy significativas entre los tiempos de ejecución y/o espera para actividades importantes, y los cuellos de botella ocurrieran en la de menor valor, lo más probable es que no sean identificados.

En (van der Aalst, 2011) se propuso la utilización de la técnica “*Replay P/C*” para los análisis de rendimiento; una de las principales características que la distingue es su capacidad para identificar de forma explícita los cuellos de botella. Además propicia los análisis de desempeño y conformidad sobre los procesos que se ejecutan en sistemas de información.

Luego de un análisis documental realizado y dada la factibilidad de su aplicación, demostrada en esta investigación se propone la integración de la técnica antes mencionada al sistema XAVIA HIS.

1.4. Ambiente de desarrollo

Se muestran todas las herramientas, lenguajes y tecnologías que se utilizaron para materializar en un producto de software los elementos que se abordan en el presente capítulo de la investigación. Entre estas se encuentran diversos marcos de trabajo (*framework*, por su nombre en inglés) que ayudaron a dar cumplimiento con mayor facilidad al objetivo general de la investigación y son las definidas para la ejecución de un proyecto de desarrollo en el CESIM. Un *framework* es un conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular, además provee una estructura y una metodología de trabajo, así como una arquitectura de *software* definida.

1.4.1. Lenguaje

Se describe a continuación el lenguaje de programación utilizado para el desarrollo de la propuesta de solución.

Lenguaje de programación: *Java*

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos que fue desarrollado por James Gosling de *Sun Microsystems* (la cual fue adquirida por la compañía Oracle) y publicado en 1995 como un componente fundamental de la plataforma *Java* de *Sun Microsystems*. Es un lenguaje robusto, pues no permite el manejo directo del *hardware* ni de la memoria. La principal característica de *Java* es la de ser un lenguaje compilado e interpretado. Todo programa en *Java* ha de compilarse y el código que se genera es interpretado por una máquina virtual. Dentro de sus principales ventajas se encuentra la de ser multiplataforma, por tanto, la personalización a desarrollar podrá ser utilizada desde cualquier entorno (propietario, libre). (Stärk et al., 2012)

1.4.2. Tecnologías a utilizar

A continuación, se describen un conjunto de tecnologías de código abierto, las cuales cumplen con las políticas de independencia tecnológica definidas en Cuba para la informatización de la sociedad cubana.

Java Server Faces v1.2

Java Server Faces (JSF) es un *framework* de desarrollo basado en el patrón MVC (Modelo-Vista-Controlador). Desarrollado a través del *Java Community Process*, la tecnología JSF establece el estándar para la construcción de interfaces de usuario del lado del servidor. (Li et al., 2011)

Java Platform Enterprise Edition v5.0

Java Platform Enterprise Edition (JavaEE) es una plataforma de programación (parte de la Plataforma *Java*) para desarrollar y ejecutar *software* de aplicaciones en lenguaje de programación *Java* con arquitectura de N niveles distribuida (Franky, 2010). Se basa ampliamente en componentes de *software* modulares y se ejecuta sobre un servidor de aplicaciones.

Java Persistence API

Java Persistence API (JPA), es la API² de persistencia desarrollada para la plataforma *JavaEE*. Esta API busca unificar la manera en que funcionan las utilidades que proveen un mapeo objeto-relacional. El objetivo que persigue el diseño de la misma es no perder las ventajas de la orientación a objetos al interactuar con una base de datos y permitir usar objetos regulares. (Vázquez, 2006)

Hibernate v3.3

Hibernate es una herramienta de mapeo objeto relacional. Es una tecnología de software libre distribuida bajo los términos de la licencia GNU³ LGPL. Como todas las herramientas de su tipo, busca solucionar el problema de la diferencia entre los dos modelos de datos coexistentes en una aplicación: el usado en la memoria de la computadora (orientación a objetos) y el usado en las bases de datos (modelo relacional). Le permite a la aplicación manipular los datos de la base de datos operando sobre objetos, con todas las características de la programación orientada a objetos, *Hibernate* convierte los datos entre los tipos utilizados por *Java* y los definidos por SQL. (Scribd., 2012)

² API (Application Programming Interface): es una llave de acceso a funciones que permite hacer uso de un servicio web provisto por un tercero, dentro de una aplicación web propia, de manera segura.

³ GNU (acrónimo recursivo de «GNU No es Unix») es un sistema operativo de tipo Unix, lo cual significa que se trata de una colección de muchos programas: aplicaciones, bibliotecas, herramientas de desarrollo y hasta juegos.

Seam v2.1.1

Seam es una potente plataforma de desarrollo de código abierto para construir aplicaciones ricas de Internet en *Java*. *Seam* integra tecnologías como *JavaScript* asíncrono y XML (AJAX), JSF, JPA, *Enterprise Java Beans* y BPM. *Seam* elimina la capa artificial que existe entre *Enterprise Java Beans* v3.0 y JSF y provee un consistente sistema de anotaciones para integrar estos dos *frameworks*. Comparada con aplicaciones desarrolladas en otros *frameworks*, las aplicaciones *Seam* son conceptualmente simples y requieren significativamente menos código (en *Java* y en XML) para obtener las mismas funcionalidades. (Álvarez et al., 2013)

Java Runtime Environment

Java Runtime Environment (JRE) (entorno en tiempo de ejecución *Java*) es un conjunto de utilidades que permite la ejecución de programas *Java* sobre todas las plataformas soportadas. La Máquina Virtual de *Java* (JVM) es una instancia de JRE en tiempo de ejecución. Esta interpreta el código *Java* y está compuesto además por las librerías de clases estándar que implementan el API de *Java*. Ambas JVM y API deben ser consistentes entre sí, de ahí que sean distribuidas de modo conjunto. (Sun Microsystems, 2014)

Jboss Server v4.2.2

Jboss Server es un servidor de aplicaciones *Java* y actualmente es el más utilizado. Cientos de profesionales y desarrolladores de código abierto han contribuido a su creación y desarrollo. Provee servicios extendidos de almacenamiento de datos en memoria y de manera persistente. Permite la integración de todas las tecnologías y herramientas utilizadas por *Seam*. Es actualizado e integrado constantemente con lo último del estado del arte de las aplicaciones web. (Soldano et al., 2008)

Java Server Facelets v1.1

Facelets es un *framework* simplificado de presentación, donde es posible diseñar de forma libre una página web y luego asociarle los componentes JSF específicos. Aporta mayor libertad al diseñador y mejora los informes de errores que tiene JSF. (Sánchez, 2008)

JBoss RichFaces v3.3.1

JBoss RichFaces es una librería de componentes web enriquecidos, de código abierto y basada en el estándar de JSF. Provee facilidades de validación y conversión de los datos proporcionados por el usuario, administración avanzada de recursos como imágenes, código *JavaScript* y Hojas de Estilo en Cascada (CSS) (Hernandis, 2011). Se integra completamente dentro del ciclo de vida JSF. Permite crear interfaces de usuario modernas de manera eficiente y rápida, basadas en componentes listos para usar, altamente configurables en cuanto a temas y esquemas de colores predefinidos por el propio *framework* o desarrollados a conveniencia, lo que mejora grandemente la experiencia de usuario.

Enterprise JavaBeans v3.0

Enterprise JavaBeans (EJB) permite realizar la administración automática de transacciones, seguridad, escalabilidad, concurrencia, distribución, acceso a ambientes portables y persistencia de datos. Incorpora el estándar JPA como el principal API de persistencia para aplicaciones EJB. Su objetivo es simplificar el desarrollo de aplicaciones Java y estandarizar el API de persistencia para la plataforma *Java*. Forma parte de la especificación JavaEE 5. (Rondón, 2009)

1.4.3. Herramientas a utilizar

Se describen las herramientas utilizadas para la integración de la técnica seleccionada al sistema XAVIA HIS. Se tienen en cuenta características como plataforma, disponibilidad y tipo de licencia.

Herramienta de integración de desarrollo: JBoss Developer Studio

JBoss Developer Studio proporciona un rendimiento superior para todo el ciclo de vida de desarrollo. Incluye un amplio conjunto de funciones de herramientas y soporte para múltiples modelos y marcos de programación, como *Java™ Enterprise Edition 6*, *RichFaces*, *JavaServer Faces* (JSF), *Enterprise JavaBeans* (EJB), *Java Persistence API* (JPA) e *Hibernate*, HTML5, y muchas otras tecnologías populares. Está totalmente probado y certificado para asegurar que todos sus *plugins*, componentes de tiempo de ejecución, y sus dependencias son compatibles entre sí. (Rydahl, 2014)

ProM 6.4

ProM es un marco extensible que es compatible con una amplia variedad de técnicas de minería de procesos en forma de *plugins*, de *software* libre y multiplataforma. Es independiente de la plataforma por ser implementado en *Java* y puede ser descargado sin ningún costo. Está publicado bajo una licencia de código abierto (van der Aalst et al., 2011); (Verbeek, 2010). Es utilizado en la investigación para validar la veracidad de la solución propuesta.

Conclusiones parciales

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. Debido a la complejidad que poseen las métricas y parámetros de las técnicas de minería de procesos, se dificulta su aplicación por profesionales ajenos a esta tecnología. Entre las técnicas analizadas que permiten la identificación de cuellos de botella, “*Replay P/C*” es la más intuitiva, además de mostrar resultados sobre el rendimiento de los procesos que resultan de interés para la investigación. Las herramientas propuestas en el capítulo para el desarrollo garantizarán la integración de la técnica al sistema XAVIA HIS, facilitando su aplicación desde el propio sistema.

CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

El presente capítulo describe el procedimiento y los elementos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la integración de la técnica “*Replay P/C*” a la Herramienta para la detección de variabilidad del sistema XAVIA HIS, como una vista de análisis para la identificación de cuellos de botella en la ejecución de los procesos.

2.1. Características del sistema XAVIA HIS

El Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS permite la recolección, almacenamiento, procesamiento, recuperación y comunicación de información de atención al paciente para todas las actividades relacionadas con la institución de salud.

El XAVIA HIS como sistema de información posee un número considerable de datos almacenados, entre los que se encuentran los datos de eventos, que son aprovechados al ser convertidos en información útil para la toma de decisiones. La información que se gestiona en el sistema está orientada a datos (DAIS) y a procesos (PAIS). La existencia de procesos definidos en el sistema permite la aplicación de técnicas de minería de procesos para el análisis de su ejecución y la toma de decisiones. Entre los procesos que tiene implementado el sistema XAVIA HIS se encuentran: solicitud de interconsulta hospitalaria y transferencia hospitalaria, pertenecientes al módulo Hospitalización; los procesos distribuir productos, productos de proveedores, desincorporar productos, procesar solicitudes y solicitar productos, pertenecientes al módulo Almacén; y el proceso interconsultas perteneciente al módulo Epidemiología.

La Herramienta para la detección de variabilidad del sistema cuenta con un Componente para la extracción y transformación de las trazas de ejecución. Este componente se encarga de extraer la información de la ejecución de las actividades de proceso y con esta información, generar el registro de eventos. El registro de eventos es la fuente de datos para el análisis del proceso al aplicar la técnica “*Replay P/C*”.

2.1.1. Descripción de la arquitectura

Una arquitectura de *software* de un programa o un sistema computacional es la estructura del sistema, la cual comprende elementos de *software*, las propiedades externamente visibles de esos elementos, y las relaciones entre ellos. (Bass et al., 2003)

El objetivo principal de la misma es aportar elementos que ayuden a la toma de decisiones y al mismo tiempo, proporciona conceptos y un lenguaje común que permiten la comunicación entre los equipos que participan en un proyecto.

El desarrollo de la Herramienta para la detección de variabilidad del sistema XAVIA HIS, a la cual se desea incorporar la vista de análisis, se basa en el patrón arquitectónico MVC. Este es un patrón que separa la lógica de negocio de la interfaz de usuario en tres capas diferentes (González et al., 2012):

Modelo: se encarga de la carga, modificación, eliminación y persistencia de la información en la base de datos. Esta capa valida también los datos antes de persistirlos. Todo este manejo de datos se realiza mediante *Hibernate* que abstrae al desarrollador del gestor de base de datos utilizado, a partir del mapeo de tablas, esto permite llevar las consultas a un lenguaje de objetos.

Vista: es la que se encarga de la visualización de la información. Está compuesta por páginas XHTML (*EXtensible HyperText Markup Language*) y controles JSF, *Facelets* y *RichFaces*. Estos componentes enriquecen la interfaz de usuario proporcionando un agradable diseño y vistosidad, además optimizan el envío y carga de datos mediante los componentes *ajax4jsf*⁴.

Controlador: la capa de negocio está compuesta por clases controladoras que se encargan de definir la lógica del negocio, el manejo y la validación de los datos capturados en la capa que se encarga de visualizar la información. Estas clases se ubican mediante anotaciones *Seam* en distintos contextos que permiten mantener el estado de los datos que manejan. En esta capa se manejan también las reglas del negocio, lo cual le da mayor dinamismo y funcionalidad al sistema.

⁴ *ajax4jsf*: es una librería de código abierto que se integra a la arquitectura de JSF para extender sus funcionalidades con la tecnología AJAX de forma limpia y sin añadir código *JavaScript*.

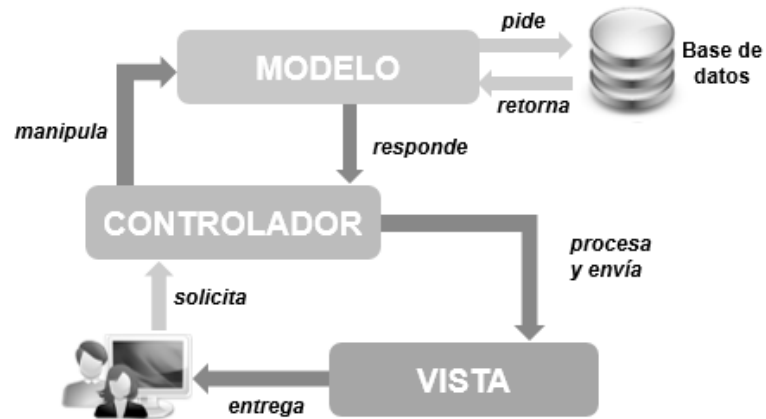


Figura 7. Patrón arquitectónico Modelo-Vista-Controlador.
Fuente: (Elaboración propia)

2.1.2. Patrones de diseño

Un patrón de diseño es una descripción de clases y objetos comunicándose entre sí adaptada para resolver un problema de diseño general en un contexto particular. Su uso ayuda a obtener un *software* de calidad (reutilización y extensibilidad). (Gamma et al., 1995)

Su utilización en la presente investigación es propiciar la estandarización del código, haciendo que el diseño sea más comprensible para otros programadores. Algunos de los beneficios que se obtienen al utilizar patrones son control de cohesión, o reutilización de código. (Martin, 2009)

Patrones de diseño GRASP

Entre los patrones de diseño se encuentran los patrones GRASP (*General Responsibility Assignment Software Patterns*, por su nombre en inglés) (Colectivo de autores, 2012). Representan los principios básicos de la asignación de responsabilidades a objetos expresados en forma de patrones. Los patrones GRASP que se pusieron de manifiesto en el diseño realizado fueron el Experto y el Creador. Con esto se logró conservar el encapsulamiento, pues los objetos logran valerse de su propia información para realizar lo que se les pide. El uso de los patrones Bajo acoplamiento y Alta cohesión permitió la colaboración entre las clases, sin verse afectada la reutilización de las mismas y el entendimiento de estas cuando se encuentran aisladas.

Experto

Experto es un patrón que suele utilizarse en el diseño orientado a objetos. Este patrón nos sugiere asignar la responsabilidad al objeto que posea la información necesaria para desempeñarla. Con su utilización se conserva el encapsulamiento, ya que los objetos se valen de su propia información para hacer lo que se les pide. El comportamiento se distribuye entre las clases que cuentan con la información requerida, alentando con ello definiciones de clases sencillas y más cohesivas que son más fáciles de comprender y mantener. Se evidencia en la clase `ReplayControl`, que se responsabiliza de crear el objeto de la clase `ManifestPerf` a partir del registro de eventos y la *Petri Net* y de construir los objetos de tipo `Actividad` para conformar una lista.

Creador

El patrón Creador guía la asignación de responsabilidades relacionadas con la creación de objetos. El propósito fundamental de este patrón es encontrar un creador que se debe conectar con el objeto producido en cualquier evento. Brinda un soporte a un bajo acoplamiento, lo que supone menos dependencias respecto al mantenimiento y mejores oportunidades de reutilización. Está evidenciado en la clase `ReplayControl` que crea las instancias de las clases `ManifestPerf` y `Actividad`.

Bajo Acoplamiento

El bajo acoplamiento es un principio que se debe tener siempre en cuenta durante las decisiones de diseño. Es un patrón evaluativo que el diseñador aplica al juzgar sus decisiones de diseño. Este patrón estimula asignar una responsabilidad de modo que su colocación no incremente el acoplamiento tanto que produzca los resultados negativos propios de un alto acoplamiento. Soporta el diseño de clases más independientes, que reducen el impacto de los cambios, y también más reutilizables, que acrecienten la oportunidad de una mayor productividad.

No puede considerarse en forma independiente de otros patrones como Experto o Alta cohesión, sino que más bien ha de incluirse como uno de los principios del diseño que influyen en la decisión de asignar responsabilidades. Con el uso de este patrón los componentes no se afectan por cambios de otros componentes, son fáciles de entender por separado y fáciles de reutilizar. Se pone de manifiesto en la clase `ReplayControl` al asignarle sus responsabilidades, de forma tal que pudiera ser independiente de las demás clases.

Alta Cohesión

El patrón Alta Cohesión es la meta principal que ha de tenerse en cuenta en cada momento en todas las decisiones de diseño. Es un patrón evaluativo que el desarrollador aplica al valorar sus decisiones de diseño. Colabora con otros objetos para compartir el esfuerzo si la tarea es grande.

Con el uso de este patrón mejoran la claridad y la facilidad con que se entiende el diseño. Se simplifican el mantenimiento y las mejoras en funcionalidad. A menudo se genera un bajo acoplamiento. La ventaja de una gran funcionalidad soporta una mayor capacidad de reutilización, porque una clase muy cohesiva puede destinarse a un propósito muy específico. Se manifiesta en todas las clases de la vista de análisis desarrollada, cada una presenta y maneja la información que necesita.

2.2. Descripción de la propuesta de solución

Con la personalización de la técnica “*Replay P/C*” se pretende realizar una vista de análisis para incorporarla a la Herramienta para la detección de variabilidad del sistema XAVIA HIS. Esta vista de análisis tiene el objetivo de identificar cuellos de botella, sin hacer uso de herramientas externas mucho más complejas y ajenas al sistema, teniendo en cuenta que será usada por personal no experto en el área de la minería de procesos. Para el desarrollo se pretenden utilizar las herramientas y tecnologías definidas en Capítulo 1 de la investigación.

2.3. Modelo conceptual de la Herramienta para detectar variabilidad

El sistema XAVIA HIS cuenta con una bitácora de procesos en su base de datos donde se almacenan los hechos o sucesos de las actividades de procesos del sistema. Para utilizar esta información desde el sistema se integró una Herramienta para la detección de variabilidad en la ejecución de los procesos (ver Figura 8). Dicha herramienta posee un Componente para la extracción y transformación de trazas de ejecución en registros de eventos. Este registro de eventos constituye el punto de partida para la aplicación de las técnicas integradas al sistema, tales como el *Inductive visual Miner* (Larrea et al., 2015), *Fuzzy Miner* (Sosa et al., 2015), *Heuristics Miner* (Reyes et al., 2015), *Variants Miner* (Castañeda et al., 2015).

Para complementar la herramienta desarrollada se propone la integración de la técnica “*Replay P/C*” con el objetivo de identificar cuellos botella. La técnica antes mencionada desarrollada para el marco de

trabajo ProM posee limitantes para su uso por parte del personal no especializado en minería de procesos (van der Aalst et al., 2011). Teniendo en cuenta que el entendimiento y la comprensión de modelos generados resulta difícil y complejo, es necesario su personalización y adaptación a las tecnologías en las que está desarrollado el sistema XAVIA HIS, realizando las modificaciones necesarias para facilitar su uso y aplicación por parte del personal clínico administrativo.

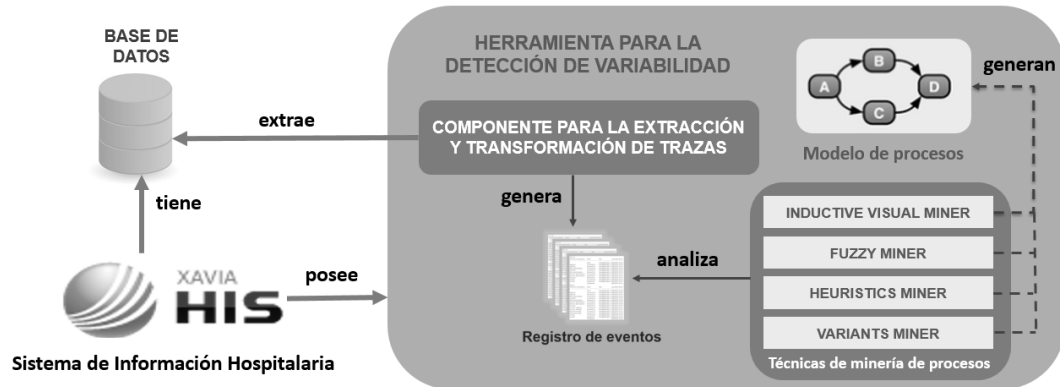


Figura 8. Flujo de información del uso de la Herramienta para detección de variabilidad.
Fuente: (Elaboración propia)

2.4. Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance

“*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. Está directamente relacionada con el análisis temporal. Además, mediante una escala de colores intuitiva, clasifica las actividades por colores según su desviación con respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones. (Adriansyah, 2012)

Entre las características que definen esta técnica se encuentran:

- Detectar problemas
- Extraer información de tiempo
- Detectar cuellos de botella
- Generar modelo integrado mostrando los tiempos de ejecución, estadía y espera.

El fin de la propuesta de solución es mejorar el entendimiento y usabilidad de los modelos para los no expertos en el área de minería de procesos. Para ello es necesario que el *plugin* desarrollado 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.

2.4.1. Entradas

Esta técnica requiere como entradas una *Petri Net/Inhibitor/Reset/ResetInhibitor Net* y un registro de eventos (ver Figura 9) para crear alineaciones avanzadas entre cada traza en el registro y la red. (Adriansyah et al., 2012)

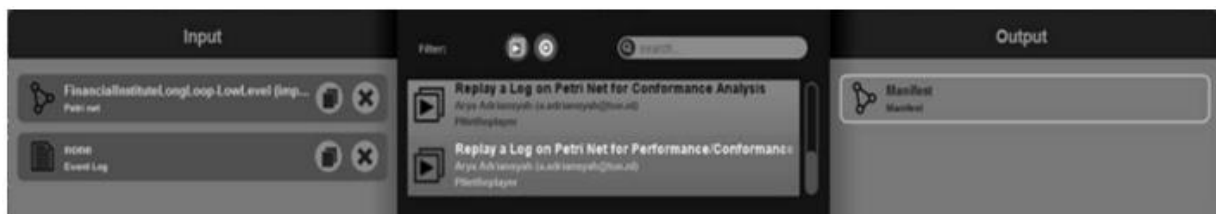


Figura 9. Vista de selección de entradas para la técnica “*Replay P/C*”.
Fuente: (Adriansyah, 2012)

Obtención de una Petri Net

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. A continuación 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 (van der Aalst et al., 2003). Puede extraer automáticamente una *Petri Net* que modela de forma concisa el comportamiento reflejado en el registro de eventos (Minería de proceso como herramienta para la auditoría, 2013).

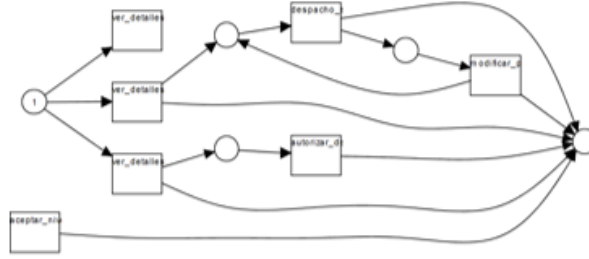


Figura 10. Construcción de una Petri Net por la técnica Mine for a Petri Net using Alpha-algorithm.

Fuente: (elaboración propia)

Durante el procesamiento posterior, el modelo descubierto (*Petri Net*) puede ser mejorado, y una representación gráfica se puede construir. Una declaración del algoritmo puede reconocerse de la siguiente manera (de Medeiros et al., 2004):

Sea W un registro de flujo de trabajo sobre T . $\alpha(W)$ se define:

$$\begin{aligned} T_W &= \{t \in T \mid \exists \sigma \in W t \in \sigma\}, \\ T_I &= \{t \in T \mid \exists \sigma \in W t = \text{first}(\sigma)\}, \\ T_O &= \{t \in T \mid \exists \sigma \in W t = \text{last}(\sigma)\}, \end{aligned}$$

Donde T_W es el conjunto de todas las tareas que se producen en al menos una traza, T_I es el conjunto de todas las tareas que se producen al inicio de la traza, y T_O es el conjunto de todas las tareas que se producen al final de la traza.

$$\begin{aligned} X_W &= \{(A, B) \mid A \subseteq T_W \wedge B \subseteq T_W \\ &\quad \wedge \forall a \in A \forall b \in B a \rightarrow_W b \wedge \forall a_1, a_2 \in A a_1 \#_W a_2 \\ &\quad \wedge \forall b_1, b_2 \in B b_1 \#_W b_2\}, \end{aligned}$$

Los lugares son descubiertos y e identificados con un par de conjuntos de tareas, con el fin de mantener el número de lugares bajos.

$$\begin{aligned} Y_W &= \{(A, B) \in X_W \mid \forall (A', B') \in X_W A \subseteq A' \\ &\quad \wedge B \subseteq B' \implies (A, B) = (A', B')\}, \\ P_W &= \{p_{(A, B)} \mid (A, B) \in Y_W\} \cup \{i_W, o_W\}, \\ F_W &= \{(a, p_{(A, B)}) \mid (A, B) \in Y_W \wedge a \in A\} \\ &\quad \cup \{(p_{(A, B)}, b) \mid (A, B) \in Y_W \wedge b \in B\} \\ &\quad \cup \{(i_W, t) \mid t \in T_I\} \cup \{(t, o_W) \mid t \in T_O\}, \end{aligned}$$

Obteniéndose como resultado

$$\alpha(W) = (P_W, T_W, F_W).$$

El Algoritmo Alpha tiene serias limitaciones (de Medeiros et al., 2003). Aunque es posible representar muchos flujos de trabajo reales, estas redes no admiten otras construcciones comunes, como las tareas invisibles o tareas duplicadas. El algoritmo además es sensible al ruido e incompleto, y falla en la representación de construcciones complejas de enrutamiento (van der Aalst et al., 2013). Se han presentado hasta la fecha varias modificaciones y extensiones de este algoritmo, como es el caso de $\alpha+$ Algorithm.

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. (van der Aalst et al., 2013)

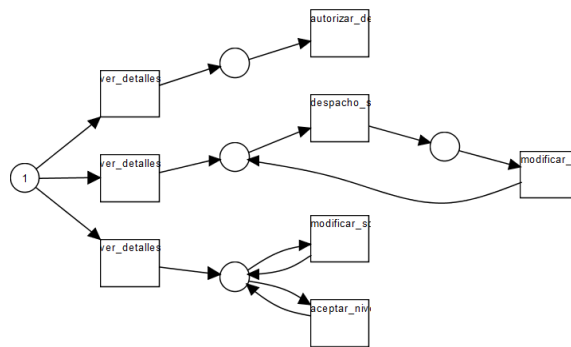


Figura 11. Construcción de una *Petri Net* por la técnica *Mine for a Petri Net using ILP*.
Fuente: (elaboración propia)

Esta característica, puede ser aprovechada para seguir añadiendo estados, haciendo así el modelo más preciso, pero se puede llegar a comprometer la complejidad del modelo. Desafortunadamente, todos los enfoques del algoritmo ILP son computacionalmente complejos, con un tiempo exponencial de ejecución (Leemans et al., 2013), pero que garantizan una alta completitud en la red descubierta. Sin embargo no posee la capacidad de robustez ante el ruido (van der Aalst et al., 2013).

Inductive Miner Algorithm

Inductive Miner (IM) es un algoritmo de descubrimiento de minería de procesos, el cual trabaja recursivamente y se basa en la técnica divide y vencerás (Leemans et al., 2013). 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 continua dividiendo hasta que cada registro contiene una sola actividad.

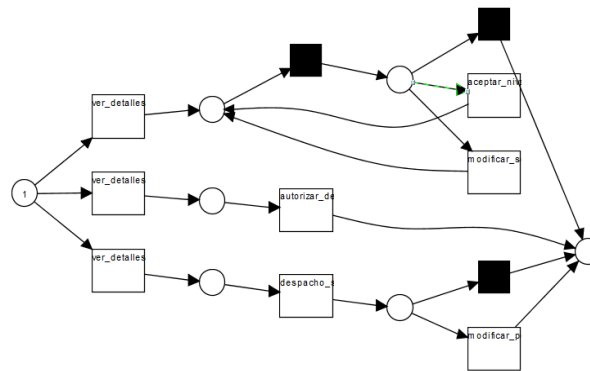


Figura 12. Construcción de una *Petri Net* por la técnica *Mine Petri net with Inductive Miner*.
Fuente: (elaboración propia)

Las frecuencias de cada una de las trazas y los eventos son ignorados por 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 ochenta por ciento.

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.

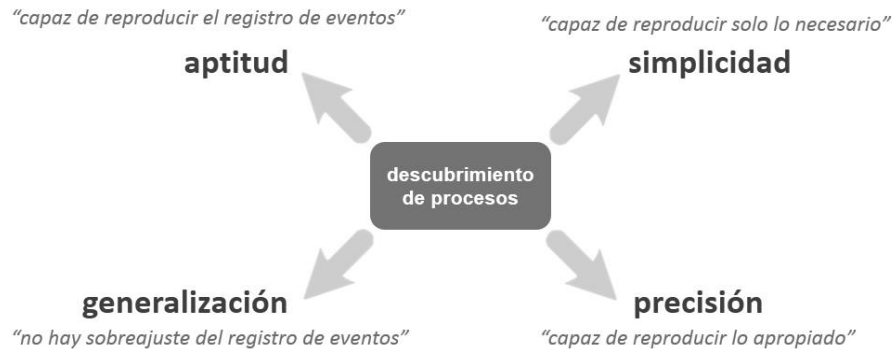


Figura 13. Equilibrio de las cuatro dimensiones de la calidad.

Fuente: (van der Aalst et al., 2013)

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*. (van der Aalst, 2011)

Para la selección de un modelo adecuado se establece que aptitud y sencillez son características necesarias, pero no suficientes, ejemplo de esto lo constituye el "*Flower model*" (ver Figura 14) donde el modelo resultante es simple y con perfecta aptitud, sin embargo, no contiene ningún conocimiento de las actividades, basándose solamente en la ocurrencia de las mismas.

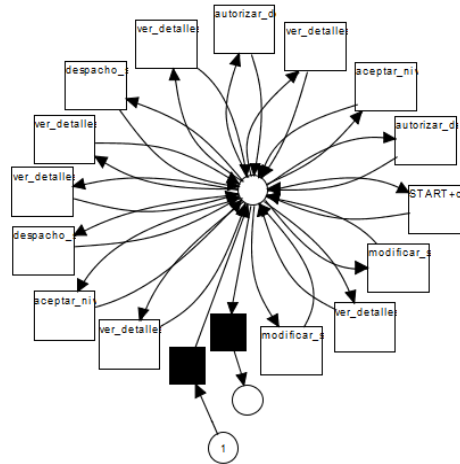


Figura 14. Construcción de un “*Flower model*” por la técnica *Mine Petri net using Flower Miner*.
Fuente: (elaboración propia)

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 13, apoyado en datos de la ejecución de los algoritmos calculados mediante fórmulas matemáticas, a partir de registros de eventos reales en (Buijs et al., 2012) y (Leemans et al., 2013) y representados en el gráfico de barras de la Figura 15.

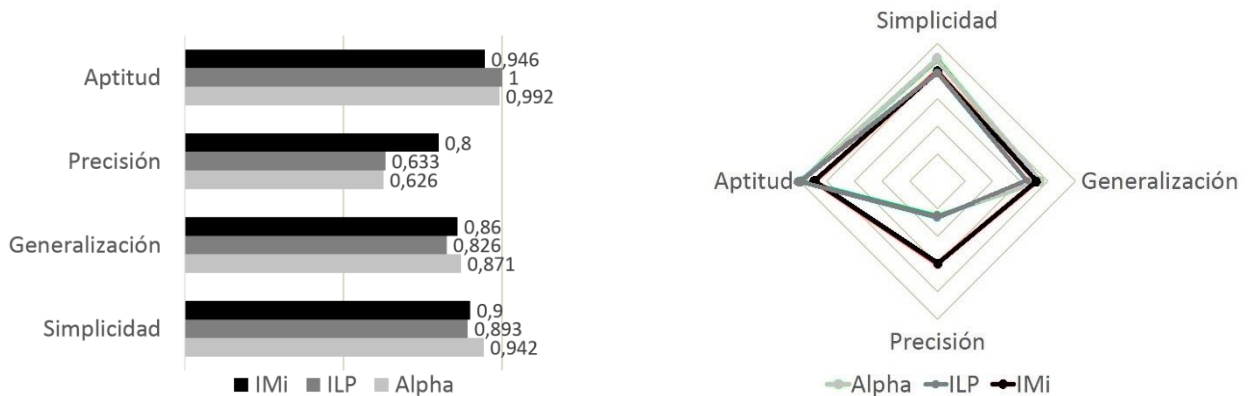


Figura 15. Comparación del equilibrio de las técnicas seleccionadas sobre las dimensiones de calidad.
Fuente: (elaboración propia)

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 (Leemans et al., 2013). 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 (van der Aalst et al., 2007); (Alves de Medeiros et al., 2007); (Sol'e et al., 2010); (van der Aalst, 2011).

2.4.2. Medidas y métricas

Algunas de las técnicas que contiene el marco de trabajo ProM permiten ser configuradas, es el caso de *“Replay P/C”*. Se recomienda que de no conocerse cabalmente lo que implica cada una de las medidas y métricas, se usen las configuraciones por defecto, debido que el modelo generado puede sufrir notorias variaciones al realizar modificaciones (Chamorro y Maturana, 2013).

En la personalización del *plugin “Replay P/C”* para el sistema XAVIA HIS se necesita obtener toda la información posible a partir de los datos que se guardan, por tanto se usan todas las métricas con sus valores por defecto con el objetivo de generar todas las actividades y sus relaciones para realizar la identificación de cuellos de botella.

2.4.3. Salidas

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”*, similar al que se muestra en la Figura 16.



Figura 16. Vista estándar *“Projects Alignments to Log”*.

Fuente: (Adriansyah, 2012)

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. 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 color del lugar 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.

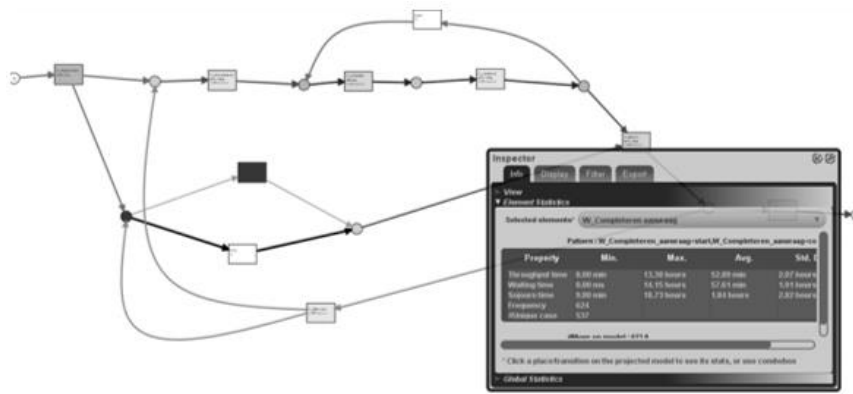


Figura 17. Visualización por defecto *“Performance Projection to Model”*.
Fuente: (Adriansyah, 2012)

Al aplicar la técnica *“Replay P/C”* se obtienen otras visualizaciones para realizar análisis de chequeo de rendimiento y conformidad desde varias perspectivas. A continuación se realiza una breve descripción de cada una de ellas.

Project Manifest to Model for Conformance

Esta visualización muestra en el modelo original, que tareas son saltadas a menudo, y cuando actividades extras que no deberían ser realizadas de acuerdo al modelo se ejecutan en realidad. Es utilizada para obtener una visión general de donde se localizan las desviaciones, separar casos desviados severamente de los no desviados, y analizar desviaciones que a menudo co-ocurren juntas en paralelo.

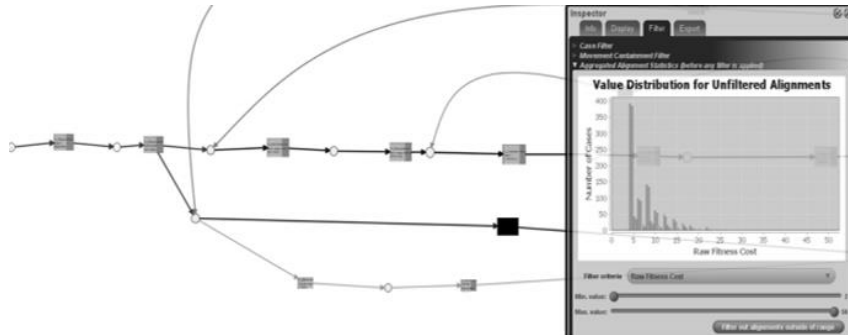


Figura 18. Visualización “Project Manifest to Model for Conformance”.
Fuente: (Adriansyah, 2012)

Trace Alignment of Manifests

Esta visualización utiliza la técnica de alineación de trazas para obtener una visión general del contexto en el que ocurren las desviaciones (Bose et al., 2012).

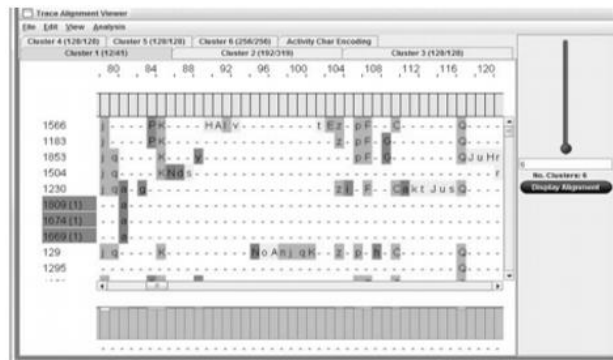


Figura 19. Visualización “Trace Alignment of Manifests”.
Fuente: (Adriansyah, 2012)

xFrequent Movement Sets Mining for Deviation Analysis

Esta visualización utiliza la librería de minería de datos de *Weka* para minar desviaciones de todas las alineaciones que ocurren con frecuencia. Un análisis típico que se puede obtener con esta visualización es: “si la tarea A se salta, la tarea B se saltará también”, o “si la clase de evento C ocurre (aunque no debería de acuerdo al modelo), la tarea D será saltada”.

Synchronous Transitions Analysis

Esta visualización es útil para identificar tiempo transcurrido entre tareas y tareas que son sincronizadas/por lotes. Utilizando una colección de alineaciones, esta visualización solo tomará las primeras ocurrencias de todas las tareas (solo sus movimientos sincronizados) en cada alineación, para medir el tiempo entre el momento en que ocurre una tarea y el momento en que ocurren otras. El color de las celdas indica el valor del tiempo medido comparado con otro (rojo = alto, verde = bajo).

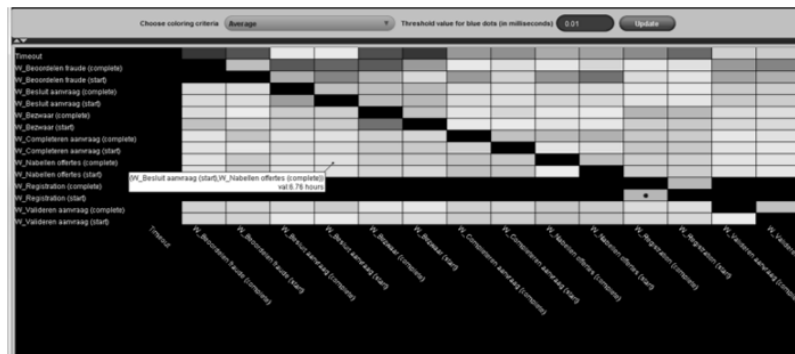


Figura 20. Visualización “Synchronous Transitions Analysis”.

Fuente: (Adriansyah, 2012)

Posterior al estudio de las posibles visualizaciones que ofrece la técnica “Replay P/C” en el marco de trabajo ProM, se define la visualización estándar “Performance projection to model” (Figura 17), como la más adecuada para identificar cuellos de botella, debido a la posibilidad de realizar análisis de rendimiento de procesos, mediante la representación de una *Petri Net* basada en un modelo BPMN y un conjunto de indicadores de desempeño.

2.4.4. Algoritmo utilizado por la técnica

A partir de la selección del algoritmo *A* ILP-based manifest replay*, se puede configurar el costo de violación y el límite de cálculos que se permiten para obtener resultados confiables. (Adriansyah, 2012). El algoritmo *A** fue desarrollado originalmente para encontrar el camino más corto entre dos nodos en un grafo dirigido y ponderado (Adriansyah et al., 2011). Mientras la función heurística retorne un valor que no tenga en cuenta la distancia de un camino desde un nodo a su nodo objetivo ideal y la función de evaluación esté aumentando con el número incrementado de nodos visitados, el algoritmo *A** está garantizado para encontrar un camino con la menor distancia (Dechter et al., 1985).

2.4.5. Estadísticas y filtros

Estadísticas

Al aplicar la técnica “*Replay P/C*”, el *plugin* en el marco de trabajo ProM muestra un panel con los datos de tiempo de procesamiento, tiempo de espera y tiempo de estadía, con el análisis de los valores máximos y mínimos, promedio así como la desviación típica, se pueden detectar las actividades que representan cuellos de botella. Debido a la importancia que suponen estos indicadores se propone su incorporación a la propuesta de solución.

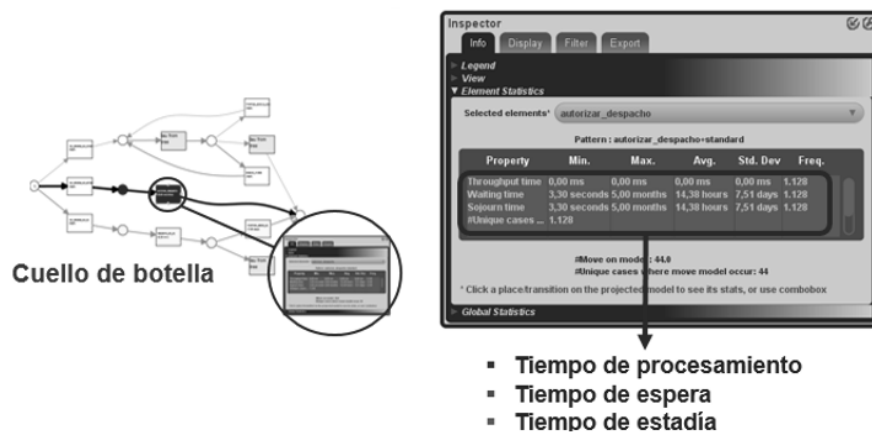


Figura 21. Vista del panel de estadísticas.

Fuente: (elaboración propia)

A partir del dato “*time:timestamp*” perteneciente a cada traza del registro de eventos y la utilización del algoritmo heurístico, es posible obtener valores para los atributos de tiempos mínimos, máximos, promedio y desviación típica asociadas a los tiempos de procesamiento, estadía y espera. La desviación típica mide el grado de dispersión de los datos con respecto a la media. Se define como la raíz cuadrada de la varianza como se muestra en la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Mientras menor sea la desviación típica, los datos son más homogéneos, es decir existe menor dispersión, el incremento de los valores de la desviación típica indica una mayor variabilidad de los datos.

Filtros

Para hacer uso del filtrado se necesita conocer el identificador de cada caso a seleccionar, con el objetivo de aplicar la técnica solamente teniendo en cuenta los datos asociados a estos. En la configuración por defecto todos los casos están seleccionados.

2.5. Integración con el XAVIA HIS

Con el objetivo de agregar una vista de análisis con la visualización “*Performance projection to model*” de la técnica “*Replay P/C*” a la Herramienta para la detección de variabilidad, para identificar cuellos de botella, es necesario establecer la relación que existe con el Componente para la extracción y transformación de trazas, este último es capaz de generar un registro de eventos; punto de partida para el uso de la minería de procesos.

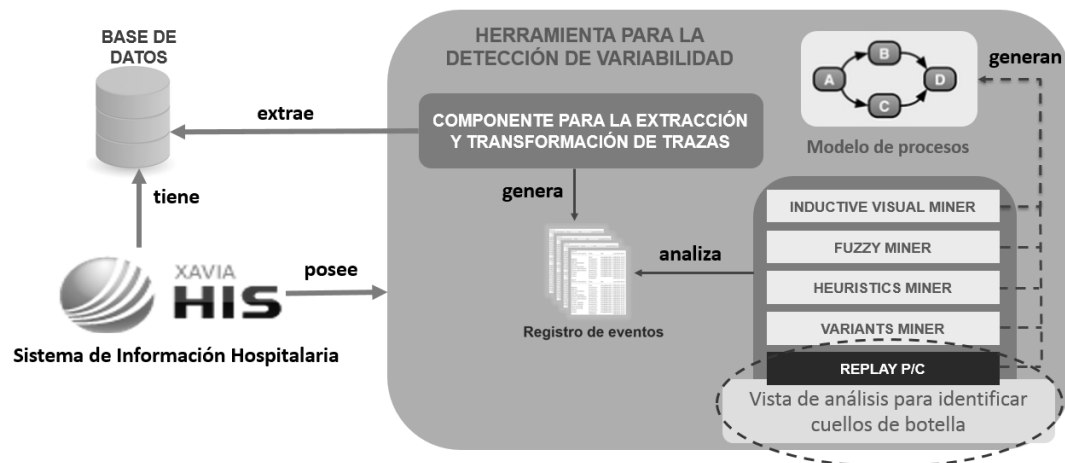


Figura 22. Incorporación de la técnica “*Replay P/C*” a la Herramienta para detección de variabilidad.
Fuente: (Elaboración propia)

Se deben agregar al servidor JBoss 4.2.2 un conjunto de librerías que posibiliten el funcionamiento de la vista de análisis desarrollada.

Librerías incluidas en el paquete PNetReplayer que deben ser añadidas al servidor:

- axis.jar
- bsh-2.0b4.jar
- collections-generic-4.01.jar
- Spex.jar
- TableLayout-20050920.jar
- weka.jar
- trove-3.0.3.jar
- ProM-Contexts.jar
- ProM-Framework.jar

- colt.jar
- commons-compress-1.0.jar
- FilterableSortableTablePanel.jar
- flanagan.jar
- jargs.jar
- jcommon-1.0.16.jar
- jlfgr-1_0.jar
- jung-algorithms-2.0.jar
- jung-api-2.0.jarjung-graph-impl-2.0.jar
- jung-io-2.0.jar
- jung-visualization-2.0.jar
- slickerbox1.0rc1.jar
- xpp3-1.1.4c.jar
- xstream-1.3.1.jar
- Log.jar
- LogDialog.jar
- Widgets.jar
- guava-16.0.1.jar
- jas-plotter-2.2.jar
- junit-4.8.1.jar
- openide-lookup-1.9-patched-1.0.jar
- jgraph.jar
- simmetrics.jar
- ProM-Models.jar
- ProM-Plugins.jar
- Uitopia.jar
- UITopiaResources.jar
- javailp-1.2a.jar
- lpsolve55j.jar
- BasicUtils.jar
- PetriNets.jar
- EfficientStorage.jar
- jbpt-0.2.429.jar
- OpenXES-XStream.jar
- OpenXES.jar

Librerías necesarias de añadir al servidor 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: en esta librería se encuentra 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.
- jgraph-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 guarda 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 PNManifestReplayer, PNManifestReplayerParameter, PNManifestReplayerILPAlgorithm, Manifest y PerfCounter de la técnica *“Replay P/C”*

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.almacen.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 transformacion 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 metodo 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.
7. 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 los radio buttons mostrados. 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.

2.5.1. Métricas configuradas para la integración

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 definió por defecto que el valor del umbral de ruido sería de un 20 por ciento, con el objetivo de hacer más fácil el procedimiento del modelado del proceso (Larrea et al., 2015).

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 Classiefier*, 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*.

2.5.2. 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/";`

Parámetros de entrada

Seleccionar proceso: proceso solicitar productos Desde: 2011-11-10 Hasta: 2012-03-15

Seleccionar tipo de análisis: Perspectiva Temporal

Generar Cancelar

Figura 23. Área para la entrada de datos del componente de extracción.
Fuente: (elaboración propia)

Entre los datos pertenecientes al registro de eventos están:

- **org:resource:** es el identificador de quien ejecuta la actividad.
- **time:timestamp:** la fecha y la hora en que se ejecutó la actividad.
- **concept:name:** corresponde al nombre de la actividad.
- **lifecycle:transition:** ciclo de vida de la transición, en este caso puede tomar dos valores (*start*, *complete*).

A continuación se muestra una sección de un registro de eventos extraído de un proceso real perteneciente al sistema XAVIA HIS.

```
<event>
<string key="org:resource" value="root"/>
<date key="time:timestamp" value="2012-06-08T10:50:51.818+01:00"/>
<string key="concept:name" value="autorizar_despacho"/>
<string key="lifecycle:transition" value="start"/>
</event>
```

Figura 24. Sección de un registro de eventos generados desde el sistema XAVIA HIS.

Fuente: (elaboración propia)

El dato “*time:timestamp*” permite aplicar la técnica “*Replay P/C*” y obtener la visualización “*Performance projection to model*”, indicada para la detección de cuellos de botella y basada en la representación de un modelo de procesos en la notación BPMN. Luego se procede a descubrir la *Petri Net* mediante el algoritmo *Inductive Miner-infrequent*.

2.5.3. Obtención de una Petri Net

Una vez preparado el punto de entrada de la técnica, 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 al 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);
```

2.5.4. 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 `PNManifestReplayerILPAlgorithm` es posible aplicar el método `replayLog` para almacenar el resultado en una variable de tipo `Manifest`, 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(null, pn.petrinet, xLog,
pn.initialMarking, finalMarkings);
parameter=(PNManifestReplayerParameter) algAndParam [1];
PNManifestReplayerILPAlgorithm alg= (PNManifestReplayerILPAlgorithm) algAndParam [0];
Manifest manifest = alg.replayLog(null, pn.petrinet, xLog, parameter);
```

2.5.5. Visualización de los resultados

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, primeramente 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. La Figura 25 muestra la interfaz de usuario de la vista de análisis en el sistema XAVIA HIS.

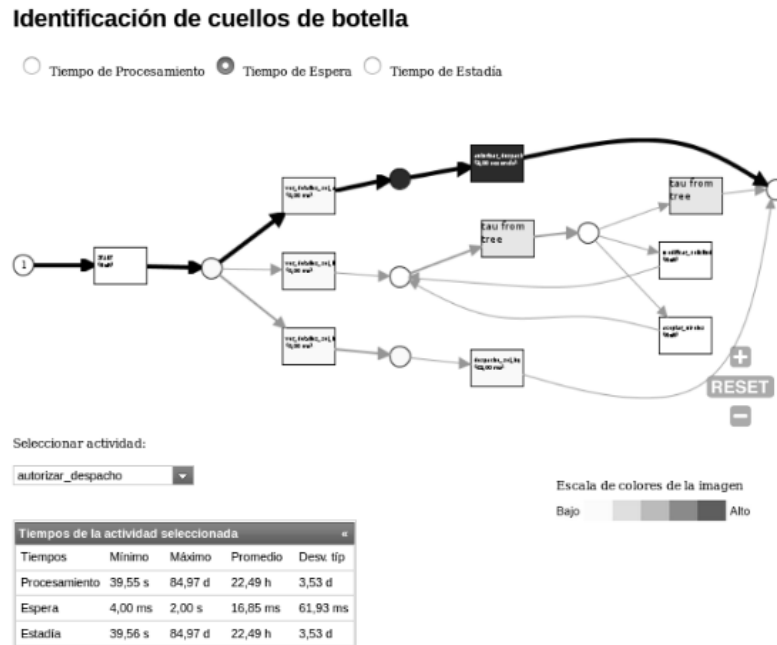


Figura 25. Vista de análisis incorporada al sistema XAVIA HIS.
 Fuente: (elaboración propia)

Conclusiones parciales

Los módulos Almacén, Epidemiología y Hospitalización del sistema XAVIA HIS poseen un enfoque de procesos y es posible aplicar la técnica “*Replay P/C*” sobre estos. Se definió como algoritmo de descubrimiento de procesos para la obtención de una *Petri Net* al *Inductive Miner-infrequent* por ser el más equilibrado en las cuatro dimensiones de calidad. Las métricas de la técnica propuesta permitieron usar sus valores por defecto en aras de obtener resultados confiables y proporcionar menor complejidad de trabajo a los usuarios. La vista “*Performance projection to model*” resultó ser la adecuada para identificar los cuellos de botella, propiciando los análisis de rendimiento a partir de los tiempos de espera, procesamiento y estadía. Fue posible agrupar las actividades cargar el registro de eventos, aplicar la técnica *Mine a Petri Net with Inductive Miner* y obtener modelos de procesos con la técnica “*Replay P/C*”, extendiendo y facilitando su uso a especialistas del dominio hospitalario.

CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

En el presente capítulo se realiza la validación de la propuesta de solución a partir de los métodos y técnicas definidos. Se ejecutarán pruebas funcionales para validar el correcto funcionamiento de la vista de análisis desarrollada, con este objetivo se realiza un caso de estudio para comprobar la efectividad de la propuesta al identificar cuellos de botella. Para valorar la factibilidad computacional de la integración de la propuesta al sistema XAVIA HIS se realizan pruebas de rendimiento. Con motivo de evaluar el Índice de Satisfacción Grupal por potenciales usuarios se aplica la técnica ladov.

3.1. Aplicación de un caso de estudio

Para validar los resultados de la personalización de la técnica, se aplicó un caso de estudio. Su objetivo es comparar los resultados obtenidos de aplicar la técnica “Replay P/C” en la herramienta ProM en su versión 6.4, con los resultados de aplicar la técnica ya incorporada mediante una vista de análisis al sistema XAVIA HIS.

Uno de los módulos implementados en el sistema XAVIA HIS es el Almacén, encargado 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. A partir de estas actividades se desprenden el resto como se observa en la Figura 26.

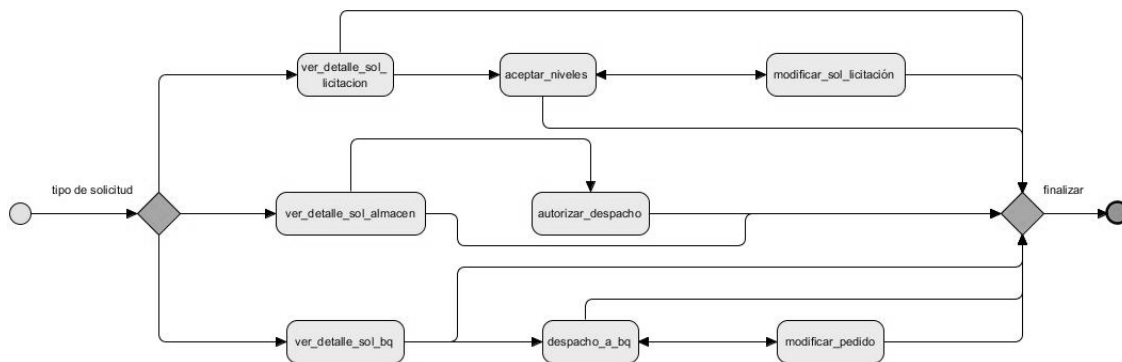


Figura 26. Diagrama de Procesos del Negocio proceso Solicitar producto.

Fuente: (Cruz et al., 2014)

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

En este caso de estudio se utilizará un registro de eventos generado por el componente de extracción para el proceso “Solicitar producto” con fecha de inicio 10 de enero del 2012 a las 09:50:00 am y fecha de fin 27 de enero del 2013 a las 20:03:15 pm. Este registro de eventos posee 1140 casos y 5677 eventos. A partir de este registro de eventos se evaluará la propuesta de solución de la presente investigación, con respecto a su similar del marco de trabajo ProM.

Para ejecutar el pre-experimento se confeccionó el siguiente procedimiento.

Pasos para aplicar la técnica Replay P/C desde ProM.

Paso 1. Obtener el registro de eventos a partir de la herramienta XESame, Eventifier o un equivalente.

Paso 2. Importar registro de eventos.

Paso 3. Obtener la *Petri Net* a partir del uso de la técnica *Mine Petri Net with Inductive Miner*.

Paso 4. Aplicación de la técnica “*Replay P/C*” para la detección de cuellos de botella.

Paso 4.1. Configuración de las métricas.

Paso 5. Visualización de los resultados.

Al aplicar la herramienta ProM es necesario importar el registro de eventos obtenido en el paso 1. Para descubrir el modelo se aplica la técnica *Mine a Process Tree using Inductive Miner*, teniendo en cuenta la configuración de sus métricas. Como resultado, esta técnica genera una *Petri Net* (ver Figura 27), la cual representa el flujo de actividades del proceso Solicitar producto del módulo Almacén.

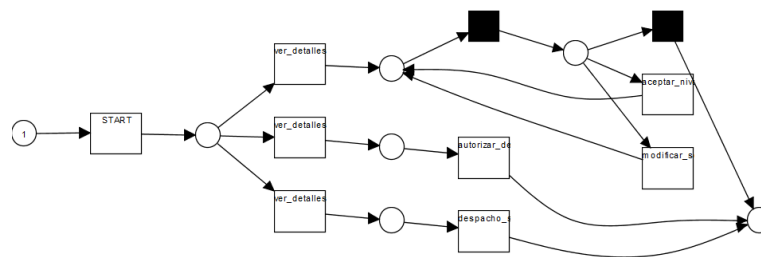


Figura 27. Petri Net generada con la técnica *Mine Petri Net with Inductive Miner*.

Fuente: (elaboración propia)

Con el fin de configurar la aplicación de la técnica, son ofrecidas por ProM las configuraciones de la métricas, selección de clasificadores, algoritmos, patrones y eventos a tener en cuenta.

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

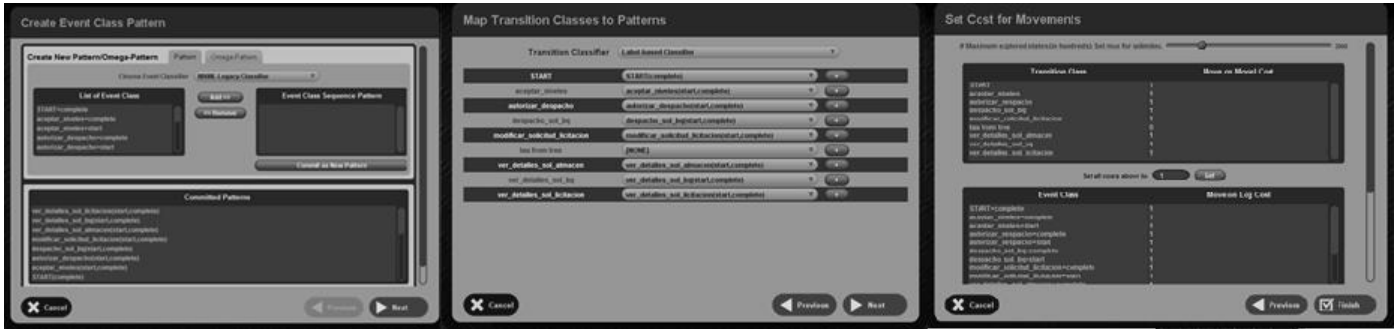


Figura 28. Configuración de las métricas para aplicar la técnica “Replay P/C” desde ProM.

Fuente: (elaboración propia)

Como se muestra en la Figura 29, para realizar el análisis basado en tiempo de ejecución es necesario seleccionar el atributo que brinda este tipo de indicador en el registro de eventos generado. Por defecto en un .xes es time:timestamp. Posteriormente, se confirma que se desean obtener solo resultados confiables mediante una ventana emergente.

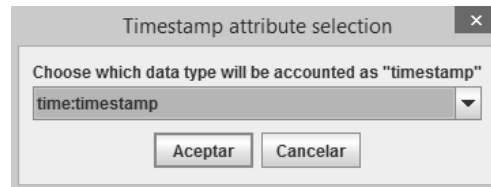


Figura 29. Configuración de atributo “timestamp” para realizar análisis de rendimiento.

Fuente: (elaboración propia)

Al obtener la visualización “Performance Projection to Model” se aprecian los posibles cuellos de botella en las transiciones autorizar despacho y/o despacho de solicitud de bloque quirúrgico.

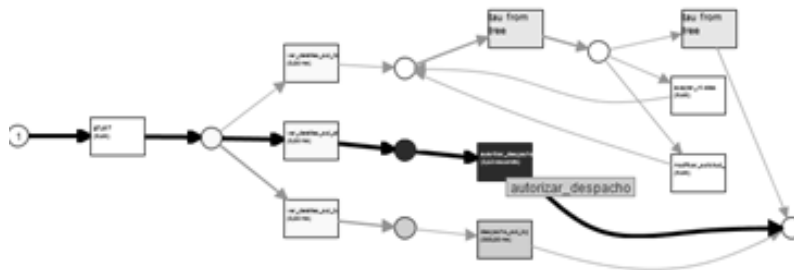
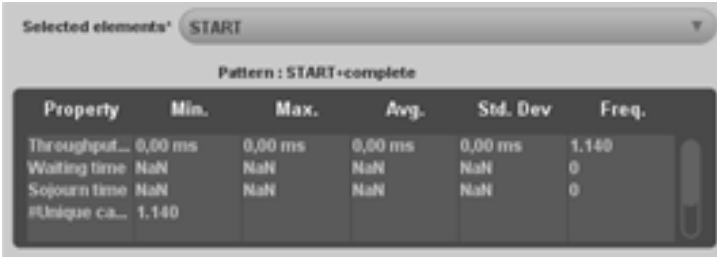


Figura 30. Visualización de un cuello de botella en el proceso Solicitar producto.

Fuente: (elaboración propia)

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

La Figura 31 muestra una tabla que resume los indicadores de tiempos con sus valores respectivos, estos valores son utilizados para definir los colores correspondientes a lugares y transiciones, donde los valores ascienden de amarillo a rojo según la criticidad del tiempo de ejecución. La frecuencia de ejecución permite que las aristas que unen las actividades aumenten el grosor.



Property	Min.	Max.	Avg.	Std. Dev	Freq.
Throughput...	0,00 ms	0,00 ms	0,00 ms	0,00 ms	1,140
Waiting time	NaN	NaN	NaN	NaN	0
Sojourn time	NaN	NaN	NaN	NaN	0
#Unique ca...	1,140				

Figura 31. Tabla que muestra la información referente a tiempos de espera, estadía y procesamiento.
Fuente: (elaboración propia)



Figura 32. Panel de configuración representar información en transiciones, lugares y arcos.
Fuente: (elaboración propia)

Procedimiento para aplicar la técnica “Replay P/C” desde el sistema XAVIA HIS.

La propuesta de solución no requiere la configuración de métricas que limitan su aplicación por parte de personal no experto en el uso de minería de procesos. El procediendo para realizar los análisis desde ProM no es necesario para aplicar la técnica desde el sistema XAVIA HIS, expandiendo las fronteras de esta tecnología.

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

Pasos para aplicar la técnica Replay P/C desde el sistema XAVIA HIS.

Paso 1. Selección del proceso a analizar y el rango de fechas correspondiente.

Paso 2. Selección de la técnica a aplicar.

Paso 3. Visualización de los resultados.

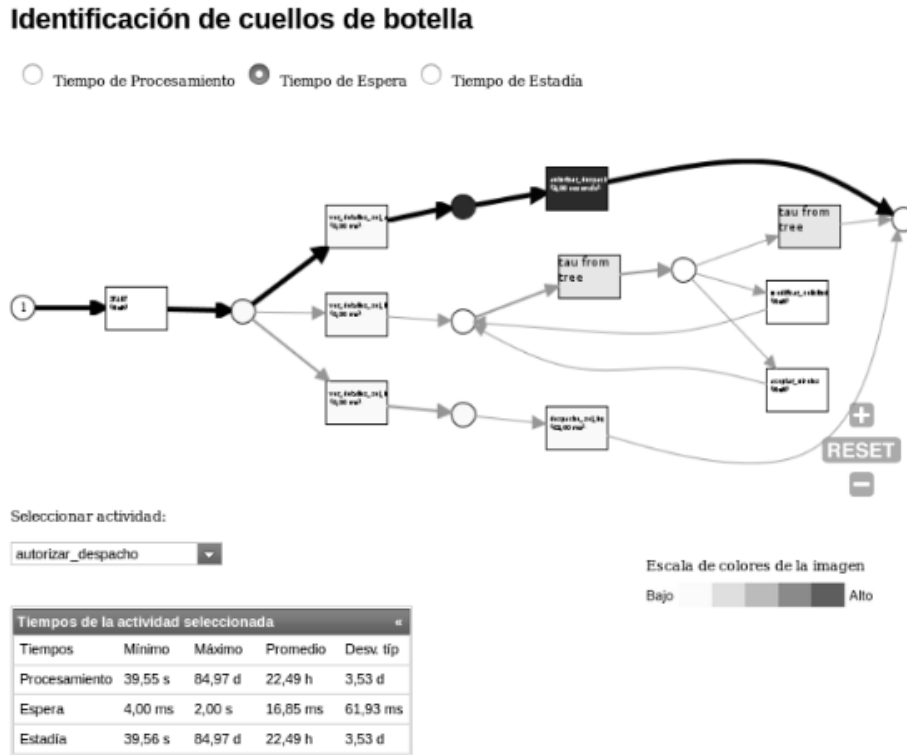


Figura 33. Vista de análisis incorporada al sistema XAVIA HIS.

Fuente: (elaboración propia)

Para utilizar la técnica integrada solo es necesario seleccionar el rango de fecha que se desea analizar con el fin de identificar cuellos de botella. A partir de ese rango se obtendrá el registro de eventos para generar la visualización y construir la tabla de indicadores. La *Petri Net* obtenida puede construirse de acuerdo a tres perspectivas diferentes, tiempo de estadía, tiempo de espera o tiempo de procesamiento.

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

En el caso de estudio analizado, las dos aplicaciones desde sistemas diferentes obtuvieron los mismos resultados, identificando los posibles cuellos de botella existentes en las transiciones autorizar despacho y/o despacho de solicitud de bloque quirúrgico.

3.2. Pruebas de rendimiento

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. Para el entorno de prueba 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. Para validar la propuesta de solución es necesario aplicar un enfoque cuantitativo de estudio de casos múltiples (Carazo, 2006). Los casos en esta investigación constituyen varias situaciones de pruebas para saber el tiempo de respuesta de la técnica, con diferentes fechas para varios procesos.

El sistema fue desplegado para un período de prueba comprendido entre el año 2010 y el 2013. Durante ese período fueron probadas las funcionalidades de los diferentes procesos implementados. En una revisión a la base de datos del sistema se constató que los procesos solicitar producto y solicitud de interconsulta son los más ejecutados durante el período antes mencionado. Estos procesos cuentan con la cantidad de datos necesarios para realizar pruebas de rendimiento y validar la propuesta de solución. Las trazas de ejecución en dichos procesos están concentradas entre el 1 de enero del 2012 y el 27 de junio del 2013. 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 2. 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	
Proceso						
Proceso solicitar producto	C	78	C	273	C	1128
	E	398	E	1369	E	5617
	A	15	A	15	A	15
	<i>t</i>	2,6 s	<i>t</i>	1,68 s	<i>t</i>	2,09 s
Transferencia hospitalaria	C	56	C	56	C	75
	E	168	E	168	E	225
	A	3	A	3	A	3
	<i>t</i>	1,3 s	<i>t</i>	1,55 s	<i>t</i>	1,28 s

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

Para conocer los tiempos empleados por la vista de análisis incorporada al 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 s, 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.

3.3. Índice de Satisfacción Grupal

La técnica Iadov constituye una vía para el estudio del grado de satisfacción. Fue creada para establecer el nivel de satisfacción por la profesión de carreras pedagógicas. Luego, algunos autores la han modificado y aplicado para valorar la satisfacción en múltiples campos y como parte de diagnósticos y validaciones en diferentes investigaciones. Se basa en la aplicación de un cuestionario que tiene una estructura interna determinada, que sigue una relación entre tres preguntas cerradas y un análisis posterior de otro conjunto de preguntas abiertas. La relación entre las preguntas cerradas se establece a través del denominado Cuadro Lógico de Iadov (Ver Tabla 3), el cual posibilita determinar posteriormente el nivel de satisfacción del usuario y del grupo.

Tabla 3. Cuadro Lógico de Iadov.
(Fuente: Elaboración propia)

	¿Considera usted que se deba obviar los datos de ejecución de los procesos hospitalarios en sistemas de información de salud, para la identificación de cuellos de botella?								
	No			No sé			Sí		
	¿Considera útil la aplicación de las Tecnologías de la Información para analizar la ejecución de los procesos hospitalarios desde sistemas automatizados?								
¿Le satisface la propuesta de solución integrada al sistema XAVIA HIS?	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No
Me satisface mucho	1	2	6	2	2	6	6	6	6
No me satisface tanto	2	2	3	2	3	3	6	3	6
Me da lo mismo	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Me insatisface más de lo que me satisface	6	3	6	3	4	4	3	4	4
No me satisface nada	6	6	6	6	4	4	6	4	5
No sé qué decir	2	3	6	3	3	3	6	3	4

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

Se utilizó la técnica para medir la satisfacción de usuarios del sector de la salud con relación a la vista de análisis desarrollada para la identificación de cuellos de botella en el sistema XAVIA HIS aplicando la técnica “*Replay P/C*”.

Para obtener los resultados de la aplicación de la técnica es necesario conocer la escala de satisfacción, así como la fórmula para determinar el Índice de Satisfacción Grupal (ISG).

La escala de satisfacción responde a la siguiente estructura, en función de la puntuación obtenida luego de aplicado el cuestionario referido:

1. Clara satisfacción
2. Más satisfecho que insatisfecho
3. No definida
4. Más insatisfecho que satisfecho
5. Clara insatisfacción
6. Contradictoria

Luego de aplicado el cuestionario y haber triangulado las preguntas cerradas en el Cuadro Lógico de ladov, el número resultante de la interrelación de las tres preguntas cerradas indica la posición de cada cual en dicha escala de satisfacción.

Para poder ponderar el ISG se establece una escala numérica entre +1 y -1 como se muestra a continuación:

- +1 Máximo de satisfacción
- +0.5 Más satisfecho que insatisfecho
- 0 No definido y contradictorio
- 0.5 Más insatisfecho que satisfecho
- 1 Máxima insatisfacción

Luego es posible calcular el ISG a partir de la siguiente fórmula:

$$\text{ISG} = \frac{A (+1) + B (+0.5) + C (0) + D (-0.5) + E (-1)}{N}$$

El ISG, como se especificó en la escala numérica anterior, fluctúa entre + 1 y - 1. Es por ello que, una vez calculado, los valores que se encuentren comprendidos entre - 1 y - 0,5 indican insatisfacción; los

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

comprendidos entre $-0,49$ y $+0,49$ evidencian contradicción y los que se ubiquen entre $0,5$ y 1 indican que existe satisfacción.

3.3.1. Aplicación de la técnica ladov para medir satisfacción

En la presente investigación fue aplicada una encuesta integrada por 8 preguntas (Ver Anexo 1) 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. 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*”.

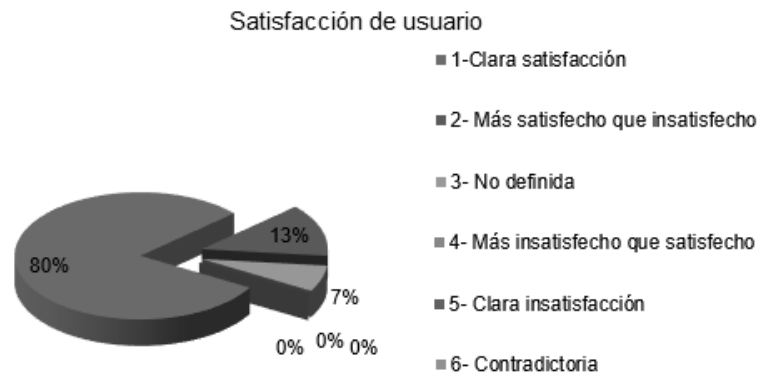


Figura 34. Distribución de la satisfacción de usuarios con respecto a la vista de análisis desarrollada.
Fuente: (elaboración propia)

El cuestionario aplicado contó además con cuatro (4) 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

Capítulo 3: Validación de la solución propuesta

comprensión y el 7% no sabía qué decir. Además permitió obtener datos sobre elementos a tener en cuenta para futuras mejoras de la propuesta.

Conclusiones parciales

La vista de análisis desarrollada es capaz de identificar posibles cuellos de botella, lo cual constituye una alternativa para propiciar la toma de decisiones. La propuesta de solución presenta ventajas en cuanto a la facilidad de uso e interpretación de resultados, para su aplicación en el entorno hospitalario, con respecto a sus equivalentes. El procesamiento de los datos por parte de la vista de análisis no afecta el rendimiento del sistema XAVIA HIS, además de requerir un menor costo de tiempo y recursos con respecto a la técnica “Replay P/C” desde ProM. Los potenciales usuarios de la vista de análisis mostraron su satisfacción con la propuesta de solución al obtenerse un índice de satisfacción grupal favorable para la investigación.

CONCLUSIONES

Con la realización del presente trabajo de diploma se ha cumplido con el objetivo general propuesto, obteniéndose las siguientes 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.
- Los cuellos de botella traen consigo un conjunto de dificultades e insuficiencias que provocan variabilidad en la ejecución de un proceso e irregularidades en el flujo de atención a pacientes.
- Entre las técnicas analizadas que permiten la identificación de cuellos de botella, *“Replay P/C”* es la más intuitiva, además de mostrar resultados sobre el rendimiento de los procesos que resultan de interés para la investigación.
- De los posibles algoritmos de descubrimiento de procesos a utilizar para generar la *“Petri Net”*, *Inductive Miner-infrequent* resultó ser el más equilibrado en las cuatro dimensiones de calidad definidas.
- 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 con la técnica *“Replay P/C”*, extendiendo y facilitando su uso a especialistas del dominio hospitalario.
- La vista de análisis identifica efectivamente cuellos de botella, con un costo de tiempo relativamente pequeño, el cual no afecta el rendimiento del sistema y cuenta con un alto nivel de satisfacción de potenciales usuarios.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomiendan las siguientes acciones:

- Obtener un modelo inspirado en notación BPMN al ejecutar la vista de análisis para mejorar la comprensión del modelo de procesos, utilizando sobre este una escala de colores para representar los costos más elevados referentes a los indicadores de tiempos.
- Implementar una animación de trazas sobre el modelo generado para apoyar la identificación de los posibles cuellos de botella.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANSYAH, ARYA and J.C.A.M, BUIJS, 2012**, Mining Process Performance from Event Logs The BPI Challenge 2012 Case Study. In: *BPM Center Report BPM-12-15*. Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- ADRIANSYAH, ARYA and VAN DER AALST, W.M.P., 2012**, Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis. Vol. 2, no. 2, p. 182–192. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery
- ADRIANSYAH, ARYA, VAN DONGEN, B. F. and VAN DER AALST, W.M.P., 2011**, *Cost-Based Conformance Checking using the A* Algorithm*. Eindhoven, Netherlands.
- ADRIANSYAH, ARYA, 2012**, *Replay a Log on Petri Net for Performance/Conformance Plug-in*. Technische Universiteit Eindhoven.
- AILENEI, IRINA MARIA, 2011**, *Process Mining Tools: A Comparative Analysis*. Tesis Doctoral. Reijers, Eindhoven: EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- ÁLVAREZ, AMAYA, MORA, MIRELIO, HERNÁNDEZ, WILDER and ALEMÁN, LORENA, 2013**, *Desarrollo de la especialidad psicología del módulo consulta externa del sistema* [online]. Available from: <http://www.informatica2013.sld.cu/index.php/informaticasalud/2013/paper/view/235/195>
- ALVES DE MEDEIROS, A.K., WEIJTERS, A.J.M.M. and VAN DER AALST, W.M.P., 2007**, Genetic Process Mining: An Experimental Evaluation. Vol. 14, no. 2, p. 245–304.
- BASS, LEN, CLEMENTS, PAUL and KAZMAN, RICK, 2003**, Software architecture in practice. In: *Software Engineering, Second Edition*. 2. Boston: Addison Wesley.
- BOSE, J. and VAN DER AALST, W.M.P., 2012**, Process diagnostics using trace alignment : opportunities, issues, and challenges. Vol. 37, p. 117–141. Information Systems
- BUIJS, J.C, VAN DONGEN, B.F. and VAN DER AALST, W.M.P., 2012** On the role of fitness, precision, generalization and simplicity in process discovery. In: *On the Move to Meaningful Internet Systems*. Springer Berlin Heidelberg. p. 305–322.
- CARAZO, P. C. M., 2006**, El método de estudio de caso. Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento y gestión: Revista de la división de Ciencias Administrativas de la Universidad del Norte*. No. 20, p. 165–193.
- CASAS, NESTOR, 2010**, Teoría de las restricciones o los cuellos de botella. P. 81–86.
- CASTAÑEDA, LISANDRA, VALLADARES, ANTONIO and ORELLANA, ARTURO, 2015**, Componente para el análisis de procesos hospitalarios aplicando la perspectiva temporal de minería de procesos. Vol. 8, no. 2, p. 52–63.
- COLECTIVO DE AUTORES, 2012**, Patrones de Asignación de Responsabilidades (GRASP). In: Universidad de Sevilla.

- CRUZ, IDALBERTO R and PERDOMO, RAMSÉS, 2014**, Procedimiento de Conformidad aplicando Minería de Procesos desde la perspectiva tiempo en el Sistema de Información Hospitalaria del Centro de Informática Médica.
- DAVENPORT, T.H., 2003**, *Process innovation: reengineering work through information technology*. Harvard Business School Press.
- DE MEDEIROS, A.K.A., VAN DER AALST, W.M.P. and WEIJTERS, A.J.M.M., 2003**, Workflow Mining: Current Status and Future Directions. In: *On the move to meaningful internet systems*. Springer Berlin Heidelberg. p. 389–406.
- DE MEDEIROS, A.K.A., VAN DONGEN, B.F., VAN DER AALST, W.M.P. and WEIJTERS, A.J.M.M., 2004**, Process mining: Extending the α -algorithm to mine short loops. Vol. 19, p. 24.
- DE WEERDT, J., DE BACKER, M., BAESENS, B. and VANTHIENEN, J., 2012**, A multi-dimensional quality assessment of state of the art process discovery algorithms using real life event logs. *Information Systems*
- FRANKY, C., 2010**, *Java EE 5 (sucesor de J2EE)* [online]. Available from: http://www.acis.org.co/fileadmin/Conferencias/ConfConsueloFranky_Abr19.pdf
- GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R. and VLISSIDES, J., 1995**, *Design Patterns*. Addison Wesley.
- GONZÁLEZ, YANETTE and ROMERO, YENISLEIDY, 2012**, Patrón Modelo-Vista-Controlador. *Revista Telem@tica*. Vol. 11, no. 1, p. 47–57.
- GUNTHER, C.W. and VAN DER AALST, W.M.P., 2007**, Lecture Notes in Computer Science. In: *International Conference on Business Process Management*. Berlin: Springer-Verlag.
- HERNANDIS, J. A., 2011**, Versión Cero [online]. Available from: <http://www.versioncero.com/noticia/210/visual-paradigm-for-uml>
- IHME, INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION, 2014**, *Health Service Provision in Uganda: Assessing Facility Capacity, Costs of Care, and Patient Perspectives*.
- INSIGHT, CORPORATE, 2016**, Corporate Insight. Automated Business Process Discovery. [online]. Available from: <http://www.corporateinsight.co.uk/qpr-process-analyzer/>
- ISO 9000, 2005., 2005**, *Norma Internacional ISO 9000* [online]. 2005. Available from: www.rree.go.cr/file-dd.php?id_file=340
- LARREA, OSVALDO ULISES, PÉREZ, YOSVANI ENRIQUE and ORELLANA, ARTURO, 2015**, Integración del plugin Inductive visual Miner de ProM al Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. Vol. 8, no. 2, p. 64–74.
- LEEMANS, SANDER J.J., FAHLAND, DIRK and VAN DER AALST, W.M.P., 2014**, *Process and Deviation Exploration with Inductive visual Miner*. Eindhoven, Netherlands: Eindhoven University of Technology.
- LEEMANS, SANDER J.J., FAHLAND, DIRK and VAN DER AALST, W.M.P., 2013**, Discovering Block-Structured Process Models From Event Logs Containing Infrequent Behaviour.

- LI, SIHUI and SUN, LIANSHAN, 2011**, Advantages analysis of JSF technology based on J2EE. In: *Computer Science and Service System (CSSS)*. IEEE. p. 2008–2010.
- LI, Y. and FENG, Y., 2007**, Design of automatic business process modelling method based on process logs.
- MANS, R.S., SCHONENBERG, M.H., SONG, M., VAN DER AALST, W.M.P. and BAKKER, P.J.M., 2008**, Application of process mining in healthcare—a case study in a dutch hospital. In: *Biomedical Engineering Systems and Technologies*. Springer Berlin Heidelberg. p. 425–438.
- MANS, R.S., SCHONENBERG, M.H., SONG, M., VAN DER AALST, W.M.P. and BAKKER, P.J.M., 2015**, *Process Mining in Healthcare. Case study*. Eindhoven University of Technology.
- MARTIN, ROBERT C., 2009**, *Clean code: a handbook of agile software craftsmanship*. Pearson Education.
- MOZES, ALAN, 2014**, Los tiempos de espera en las salas de emergencias varían significativamente, halla un estudio.
- NC/ISO-9000, 2004**, *Orientación sobre el concepto y uso del “Enfoque basado en procesos” para los sistemas de gestión*.
- ORELLANA, ARTURO and LEDESMA, YASMANI, 2015**, ¿Por qué aplicar Minería de Proceso en el entorno hospitalario? In: *Proceedings of the 13th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. La Habana, Cuba: Engineering Education Facing the Grand Challenges.
- ORELLANA, ARTURO and SÁNCHEZ, Y, 2014**, Minería de Procesos en salud. Caso de Estudio: modelado de los procesos del área de Emergencia. Guayaquil, In: LACEI.
- ORELLANA, ARTURO, SÁNCHEZ, YOVANNYS and GONZÁLEZ, LAURA, 2015**, *Aplicación del Modelo L* de minería de proceso al módulo Almacén del Sistema de Información Hospitalaria alas HIS*. La Habana, Cuba.
- ORELLANA, ARTURO, 2015b**, *Herramienta para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando minería de procesos*.
- PANEQUE, PILAR, 2002**, *Gestión por procesos en el sistema sanitario público de Andalucía*. Huerca-Overa, España.
- QPR SOFTWARE OYJ, 2011**, Automated Business Process Discovery Software QPR ProcessAnalyzer. [online]. Available from: <http://www.qpr.com/products/qpr-processanalyzer.htm>
- R., Dechter and PEARL, J., 1985**, generalized best-first Search Strategies and the Optimality of A*. *Journal of the ACM (JACM)*.
- REBUGE, ÁLVARO and FERREIRA, DIOGO R., 2011**, Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining. *Information Systems*
- REYES, ALEJANDRO MARCIAL, ABREU, MAYRELIS, ORELLANA, ARTURO and EILER EFRAIN, 2015**, Componente web para detectar incongruencias en procesos hospitalarios personalizando el plugin Heuristics Miner de ProM. Vol. 8, no. 2, p. 42–51.

- RONDÓN, LUIS, 2009**, JAVA J2EE. JPA - Java Persistence API [online]. Available from: <http://www.luchorondon.blogspot.com/2009/04/jpa-java-persistence-api.html>.
- ROZINAT, A. and GÜNTHER, C.W., 2012**, Fluxicon. Process mining for professionals. [online]. Available from: <http://fluxicon.com/disco/>
- ROZINAT, ANNE, 2011a**, 4 Challenges for Process Mining in Healthcare. *Flux Capacitor* [online]. Available from: <http://fluxicon.com/blog>
- ROZINAT, ANNE, 2011b**, Process Mining in Healthcare – Case Study No. 1. *Flux Capacitor* [online]. Available from: <http://fluxicon.com/blog>
- ROZINAT, ANNE, 2011c**, Process Mining in Healthcare – Case Study No. 2. *Flux Capacitor* [online]. Available from: <http://fluxicon.com/blog>
- ROZINAT, ANNE, 2011**, How Process Mining Compares To Simulation. *Flux Capacitor* [online]. Available from: <http://fluxicon.com/blog>
- ROZINAT, ANNE, 2013**, Process Mining in Healthcare – Case Study No. 3. *Flux Capacitor* [online]. Available from: <http://fluxicon.com/blog>
- RYDAHL, MAX, 2014**, Red Hat JBoss Developer Studio. [online]. Available from: <http://www.jboss.org/products/devstudio/overview/>
- SÁNCHEZ, JOSÉ M.S., 2008**, *Migración de JSP a Facelets* [online]. Available from: <http://www.adictosaltrabajo.com/tutoriales/tutoriales.php>
- SÁNCHEZ, NORMA, LUGO, MARGOTH, CHACÓN, PAMELA and ZAMBRANO, CRISTINA, 2013**, *Largos tiempos de espera en la umf 46 del imss, Sinaloa*. Sinaloa Culiacán, México. Iniciativa Sinaloa.
- SCRIBD, 2012**, *Persistencia-Hibernate* [online]. Available from: <http://es.scribd.com/doc/99836434/Persistencia-Hibernate>.
- SINGH, LEENA and AGARWAL, NEHA, 2014**, Process Mining Tools: A comparative Analysis and Review. *Krishi Sanskriti Publications*.
- SOL´E, M. and CARMONA, J., 2010**, 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.
- SOLDANO, ALESSIO, DIMITRIS, ANDREADIS, BURKE, BILL and STANSBERRY, BRIAN, 2008**, *Jboos Application Server 4.2.2. Administration and Development Guide*.
- SOSA, ADRIAN, PEREIRAS, KATHERINE and ORELLANA, ARTURO, 2015**, Componente para el análisis de frecuencia en procesos hospitalarios aplicando la técnica Fuzzy Miner. Vol. 8, no. 2, p. 75–84.
- STÄRK, ROBERT F., SCHMID, JOACHIM and BÖRGER, EGON, 2012**, *Java and the Java virtual machine: definition, verification, validation*. Springer Science & Business Media.
- SUN MICROSYSTEMS, 2014**, *Java Runtime Environment (JRE)* [online]. Available from: http://descargar.cnet.com/Java-Runtime-Environment-JRE/3000-2378_4-10009607.html

- SZYPERSKI, CLEMENS, GRUNTZ, DOMINIK and MURER, STEPHAN, 1998**, *Component software: beyond object-oriented programming*. New York: Addison-Wesley.
- VAN DER AALST, W M P, ADRIANSYAH, A and MEDEIROS, A.K.A, 2011**, *Manifiesto sobre Minería de Procesos*. IEEE.
- VAN DER AALST, W M P, J. DESEL and A. OBERWEIS, 2000**, *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*. Berlín: Springer-Verlag.
- VAN DER AALST, W.M.P., MANS, RONNY, SCHONENBERG, HELEN, LEONARDI, GIORGIO, PANZARASA, SILVIA, CAVALLINI, ANNA and QUAGLINI, SILVANA, 2008**, *Process Mining Techniques: an Application to Stroke Care*. Dept. Computer and System science, University of Pavia; IRCCS Casimiro Mondino Foundation, Pavia, Italy and Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- VAN DER AALST, W.M.P., REIJERS, H.A., WEIJTERS, A.J.M.M., VAN DONGEN, B.F., ALVES DE MEDEIROS, A.K. and SONG, M.; VERBEEK, H.M.W., 2007**, Business Process Mining: An Industrial Application. Vol. 32, no. 5, p. 713–732. Information Systems
- VAN DER AALST, W.M.P and VAN DONGEN, B.F, 2013**, Discovering Petri Nets from Event Logs. T. Petri Nets and Other Models of Concurrency. Eindhoven, the Netherlands.
- VAN DER AALST, W.M.P., WEIJTERS, A.J.M.M. and MARUSTER, L., 2003**, Workflow Mining: Discovering process models from event logs. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. Vol. 16.
- VAN DER AALST, W.M.P., 2011**, *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Eindhoven: Springer-Verlag-Berlin Heidelberg.
- VAN DONGEN, B.F. and ADRIANSYAH, A., 2009**, *Process Mining: Fuzzy Clustering and Performance Visualization*. Eindhoven, Netherlands.
- VÁZQUEZ, CRISTÓBAL, 2016**, *Introducción a JasperReports e iReport (Primera parte)*.
- VERBEEK, H.M.W., 2010**, ProM 6 Tutorial. ProM.
- WANG, JIACUN, 2007**, Petri nets for dynamic event-driven system modeling. In: *Handbook of Dynamic System Modeling*. p. 1–17.
- WEBSTER, C., 2011**, *Conformance Checking of Processes Based on Monitoring Real Behavior*. EHR Workflow Inc.
- YZQUIERDO, R., SILVERIO, R. and LAZO, M., 2013**, *Tratamiento de la ausencia de información en la minería de procesos*.
- YZQUIERDO, R., 2013**, Minería de proceso como herramienta para la auditoría. *Ciencias de la Información*. Vol. 44, no. 2.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta satisfacción de usuarios potenciales

Estimado (a): la presente encuesta forma parte de una investigación que está dirigida a comprobar la factibilidad de la integración de la técnica "Replay P/C" de minería de procesos en el sistema XAVIA HIS. El uso de herramientas que aplican la minería de procesos resulta complejo para usuarios no expertos en el área, por lo que se realizaron personalizaciones y se integró la técnica para ser aplicadas desde el Sistema. Por cuanto, sus valoraciones acerca de los asuntos que se someten a su consideración servirán de ayuda.

EVALUACION DE LA INTEGRACIÓN DE LA TÉCNICA REPLAY P/C PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CUELLOS DE BOTELLA DESDE EL SISTEMA XAVIA HIS		
No	Preguntas	Respuestas
1	¿Conoce lo que es un cuello de botella en la ejecución de un proceso?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
2	¿Sabe usted que problemas traen consigo este tipo de restricciones?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
3	¿Considera que resulta importante su identificación?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
4	¿Considera útil la aplicación de las Tecnologías de la Información para analizar la ejecución de los procesos hospitalarios desde sistemas automatizados?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
5	¿Considera usted que se deba obviar los datos de ejecución de los procesos hospitalarios en sistemas de información de salud, para la identificación de cuellos de botella?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
6	Si tuviera que analizar un proceso hospitalario con una herramienta informática ¿Cuál sería su motivación? Seleccione una sola opción.	Ahorro de tiempo <input type="checkbox"/> Resultados confiables <input type="checkbox"/> Basado en datos reales <input type="checkbox"/>
7	¿Qué elementos a su entender, mejora la herramienta propuesta con respecto a las ya existentes de minería de procesos? Seleccione una sola opción.	Usabilidad <input type="checkbox"/> Comprensión <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
8	¿Le satisface la propuesta de solución integrada al sistema XAVIA HIS?	Me gusta mucho <input type="checkbox"/> No me gusta tanto <input type="checkbox"/> Me da lo mismo <input type="checkbox"/> Me disgusta más de lo que me gusta <input type="checkbox"/> No me gusta nada <input type="checkbox"/> No sé qué decir <input type="checkbox"/>