



Universidad de las Ciencias  
Informáticas

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 2

Trabajo de Diploma para optar por el título de  
Ingeniero en Ciencias Informáticas.

ActiFlow Miner: herramienta de minería de procesos para la  
evaluación de procesos hospitalarios en el Sistema Xavia HIS

**Autor:**

Victor Manuel Quintana Díaz

**Tutores:**

Dr. C. Arturo Orellana García

Ing. David Ramírez González

La Habana, junio de 2018

## Declaración de autoría

Declaro ser el único autor del trabajo de diploma *“ActiFlow Miner: herramienta de minería de procesos para la evaluación de procesos hospitalarios en el Sistema Xavia HIS”*, concedo a la Universidad de las Ciencias Informáticas y en especial al Centro de Informática Médica la autorización a hacer uso del mismo en su beneficio.

Para que conste firmo el presente documento a los \_\_\_\_ días del mes de junio del año 2018.

Victor Manuel Quintana Díaz

\_\_\_\_\_  
Firma del autor

Dr. C. Arturo Orellana García

\_\_\_\_\_  
Firma del tutor

Ing. David Ramírez González

\_\_\_\_\_  
Firma del tutor

## Datos de contacto

**Victor Manuel Quintana Díaz** (vmquintana@estudiantes.uci.cu)

**Dr. C. Arturo Orellana García** (aorellana@uci.cu): graduado de Ingeniería en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas en el año 2012. Se desempeña como líder del Grupo de Investigación de Minería de procesos y Asesor de Capacitación, Desarrollo e Investigación del Centro de Soluciones de Informática Médica. Ha liderado proyectos I+D+i de desarrollo de componentes de software a partir de minería de procesos para el análisis de procesos de negocio del entorno hospitalario. Investiga la Ingeniería de comportamiento, la medicina de precisión y el procesamiento de imágenes médicas. Tutora varias tesis de grado, maestrías y doctorados enfocados al análisis de procesos de negocio, la informática médica y otras áreas del conocimiento. Obtuvo el grado de Máster en Informática Aplicada en 2015 desarrollando una herramienta informática basada en técnicas de minería de procesos para identificar problemas en la ejecución de procesos de negocio. Doctor en Ciencias Técnicas desde 2016 presentando un modelo computacional para la detección de variabilidad en procesos de negocio del entorno sanitario aplicando minería de procesos.

## Dedicatoria

A mis padres (todos), abuelos y hermanos,

A mi novia Jessie,

A los que no sobrevivieron la universidad,

A los que sí lo hicieron,

A Víctor Manuel Quintana Díaz,

mi mayor enemigo, con toda la adhesión,

la simpatía y el afecto de

Víctor Manuel Quintana Díaz.

## Resumen

La complejidad de los procesos hospitalarios en conjunto con el alto grado de dinamismo existente en las instituciones de salud son factores que influyen directamente en los costos y calidad de los servicios brindados. Es por ello que las instituciones sanitarias se han interesado en la gestión de sus procesos de negocio mediante sistemas informáticos.

Los sistemas informáticos de las instituciones sanitarias almacenan un importante cúmulo de información; sin embargo, no facilitan el análisis de sus procesos de negocio y carecen de mecanismos que permitan a los especialistas de la salud evaluar el estado y ejecución de dichos procesos para la toma de decisiones. Las técnicas de minería de procesos analizan los datos reales de sistemas informáticos y son especialmente útiles para el análisis de la ejecución de los procesos de negocio.

El objetivo de la presente investigación fue desarrollar una herramienta informática que integre y adapte las técnicas de minería de procesos existentes en el Xavia HIS para la evaluación y modelación de procesos hospitalarios desde sistemas de información de salud.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los métodos de investigación Analítico-Sintético, Histórico – Lógico, Análisis documental, Análisis comparativo y Observación; y las herramientas Netbeans y ProM.

Se obtuvo como resultado una herramienta que permite el análisis y comprensión de procesos hospitalarios, además se comprobó experimentalmente su eficacia para evaluar dichos procesos. La herramienta contribuye al uso y entendimiento de la minería de procesos por usuarios no expertos, para el análisis de procesos hospitalarios.

**Palabras claves:** Minería de procesos, modelo de procesos, registro de eventos, Sistema de Información Hospitalaria, variabilidad.

## Abstract

The complexity of hospital processes together with the high degree of dynamism existing in health institutions are factors that directly influence the costs and quality of the services provided. That is the reason for health institutions have become interested in the management of their business processes through computer systems.

The computer systems of health institutions store an important pile of information; however, they do not facilitate the analysis of their business processes and lack of mechanisms that allow health specialists to evaluate the status and execution of these processes for decision-making. Process mining techniques analyze actual data from computer systems and are especially useful for analyzing the execution of business processes.

The purpose of this research was to develop a computer tool that integrates and adapts the existing process mining techniques in the XAVIA HIS for the evaluation and modeling of hospital processes from health information systems.

For the development of the research we used the methods of Analytical-Synthetic, Historical-Logical, Documentary Analysis, Comparative Analysis and Observation; and the Netbeans and ProM tools.

It was obtained as result a tool that allow the analysis and understanding of hospital processes, also its effectiveness in evaluating these processes was tested experimentally. The tool contributes to the use and understanding of process mining by non-expert users for the analysis of hospital processes.

**Keywords:** Event logs, Hospital Information System, Process mining, process model, variability.

## Índice

Introducción .....	1
Capítulo 1. Fundamentación teórica de la investigación .....	6
1.1    Procesos de negocio en instituciones hospitalarias .....	6
1.1.1    Variabilidad en procesos hospitalarios .....	7
1.1.2    Sistemas de información hospitalaria.....	8
1.2    Gestión por procesos de negocio .....	8
1.2.1    Procesos de negocio .....	9
1.2.2    Gestión basada en procesos .....	10
1.3    Modelo de proceso de negocio .....	11
1.3.1    Técnicas para modelar procesos hospitalarios .....	12
1.4    Gestión y minería de procesos de negocio .....	14
1.4.1    Trazas .....	14
1.4.2    Registro de eventos.....	15
1.4.3    Minería de Procesos.....	17
1.4.4    Técnicas de minería de procesos .....	18
1.5    Análisis del estado del arte .....	22
1.6    Ambiente de trabajo.....	24
1.6.1    Motor de flujo jBPM .....	24
1.6.2    Lenguaje.....	25
1.6.3    Tecnologías .....	25
1.6.4    Herramientas .....	27
Conclusiones parciales:.....	28
Capítulo 2. Propuesta de solución .....	29
2.1    Propuesta de solución .....	29
2.2    Características del sistema Xavia HIS .....	32

2.3	Patrones de diseño utilizados en la propuesta de solución .....	32
2.3.1	Patrones de diseño GRASP.....	32
2.4	Estándares de codificación .....	33
2.5	Técnicas de minería de procesos .....	35
2.5.1	Replay P/C .....	35
2.5.2	Fuzzy Miner .....	35
2.5.3	Transition System Analyzer .....	38
2.5.4	Dotted Chart .....	38
2.5.5	Social Network.....	40
2.6	Componente de extracción y transformación de trazas.....	40
2.6.1	Características del registro de eventos .....	41
2.7	Visualización de la herramienta .....	42
	Conclusiones parciales:.....	48
Capítulo 3.	Validación de la propuesta de solución.....	49
3.1	Aplicación del caso de estudio.....	49
3.1.1	Replay P/C .....	49
3.1.2	Fuzzy Miner .....	51
3.1.3	TS Analyzer .....	53
3.1.4	Dotted Chart .....	54
3.1.5	Social Network.....	56
3.2	Pruebas de rendimiento.....	58
3.3	Aplicación de la técnica ladov para medir satisfacción de potenciales usuarios.....	60
	Conclusiones parciales:.....	63
	Conclusiones .....	64
	Recomendaciones .....	65
	Referencias bibliográficas .....	66

Anexos.....	72
-------------	----

## Índice de ilustraciones

Figura 1. Representación de un proceso genérico (ISO/TC, 2008) .....	9
Figura 2. Ciclo de vida de la BPM (IEEE Task Force on Mining Process, 2011). .....	11
Figura 3. Registro de eventos (IEEE Task Force on Mining Process, 2011) .....	16
Figura 4. Diseño conceptual de la herramienta ActiFlow Miner. ....	30
Figura 5. Diagrama de flujo de actividades de la herramienta ActiFlow Miner. ....	31
Figura 6. Fragmento de código de conexión con la base de datos.....	41
Figura 8. Vista Generar registro de eventos.....	43
Figura 9. Vista Técnica Replay P/C. ....	44
Figura 10. Vista Técnica Fuzzy Miner. ....	45
Figura 11. Vista técnica TS Analyzer. . ....	46
Figura 12. Vista Técnica Dotted Chart. . ....	47
Figura 13. Técnica Social Network. ....	47
Figura 14. Configuración de las métricas para aplicar la técnica “Replay P/C” desde ProM. ....	50
Figura 15. Visualización de un cuello de botella en el proceso Solicitar producto. . ....	50
Figura 16. Vista generada por la técnica Replay P/C incorporada a la herramienta ActiFlow Miner. ...	51
Figura 17. Interfaz de la herramienta ProM del proceso “Solicitar productos”. ....	52
Figura 18. Interfaz del proceso “Solicitar productos” con el plugin Fuzzy Miner desde ActiFlow Miner. ....	52
Figura 19. Vista de la técnica TS Analyzer en la herramienta ProM del proceso Solicitar Producto. ...	53
Figura 20. Vista de la tabla que muestra la técnica personalizada en el ActiFlow Miner. ....	54
Figura 21. Modelo generado por la técnica Dotted Chart Analysis desde la herramienta ProM. ....	55
Figura 22. Configuraciones de visualización de la técnica Dotted Chart Analysis desde la herramienta ProM. ....	55
Figura 23. Modelo generado por la técnica Dotted Chart Analysis en la herramienta ActiFlow Miner. .	56
Figura 24. Configuraciones de visualización en ProM. ....	57
Figura 25. Modelo generado por la técnica Social Network en ProM. ....	57
Figura 26. Modelo generado por la técnica Social Network desde la herramienta ActiFlow Miner. ....	58
Figura 27. Diagrama de tiempos de respuesta de las técnicas personalizadas en la herramienta dados en segundos. . ....	60
Figura 28. Resultados de la técnica de ladov tras aplicar la encuesta. . ....	62

## Índice de tablas

Tabla 1. Análisis de herramientas para modelado de procesos. ....	13
Tabla 2. Niveles de madurez de los registros de eventos. ....	17
Tabla 3. Características de aplicaciones para la minería de procesos .....	23
Tabla 4. Tiempo de ejecución del proceso de extraer registro de eventos .....	59
Tabla 5. Tiempo de ejecución de las técnicas de minería de procesos integradas.....	59
Tabla 6. Encuesta realizada para aplicar técnica de ladov.....	72
Tabla 7. Resultados de la encuesta realizada para aplicar técnica de ladov .....	73

## Introducción

El perfeccionamiento de los procesos de negocio es un factor crítico para el éxito de las instituciones sanitarias a nivel mundial, y un tema de creciente interés. Dichas organizaciones, por su importancia en el desarrollo de la sociedad, son constantemente presionadas a mejorar la calidad de sus servicios, muchas veces bajo influencia gubernamental y en condiciones económicas desfavorables. A medida que aumentan las exigencias en cuanto a servicios ofrecidos y satisfacción de los usuarios, se evidencia la necesidad de incorporar nuevas técnicas para la gestión de los procesos con el fin de mejorar en eficiencia<sup>1</sup> y eficacia<sup>2</sup> (Rebuge y Ferreira, 2012).

La Gestión de Procesos de Negocio (en inglés: *Business Process Management* o B.P.M.) 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, en busca de mejorar la eficiencia y la eficacia por medio de la gestión sistemática de los mismos. Para su correcto tratamiento los procesos deben ser modelados, automatizados, integrados, monitoreados y optimizados de forma continua (Díaz, 2008; IEEE Task Force on Mining Process, 2011).

La Norma Internacional ISO 9001:2015 (Sistemas de gestión de calidad) define como uno de sus principios de gestión de la calidad un enfoque basado en procesos, donde expone que *“la comprensión y gestión de los procesos interrelacionados como un sistema contribuye a la eficacia y eficiencia de la organización en el logro de sus resultados previstos”*.(NC/ISO-9001, 2015) *“Es por eso que la Gestión por procesos ha devenido como un instrumento básico de las organizaciones de salud cuyo principal propósito es trabajar en la gestión hospitalaria con valor añadido al paciente. Esta forma de gestión logra identificar, estabilizar y controlar mejor las áreas de responsabilidad médica en centros de salud y reconoce el enfoque basado en procesos como vía clave para el cumplimiento de la misión de la organización hospitalaria”* (Orellana et al., 2016).

Los Sistemas de Información Hospitalaria (en inglés: *Hospital Information Systems* o H.I.S.) constituyen un importante soporte al enfoque basado en procesos debido a que almacenan información de la ejecución de los procesos en una bitácora de trazas (contiene los datos de los eventos asociados a la ejecución de las actividades), la cual es el resultado del almacenamiento de las actividades de un

---

<sup>1</sup> Según el Diccionario de la Real Academia Española, **eficiencia** (del latín *efficientia*) es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir lo que queremos determinadamente.

<sup>2</sup> Según el Diccionario de la Real Academia Española, **eficacia** (del latín *eficacia*) es la capacidad de lograr el efecto que se desea o se espera.

proceso ejecutadas en un período determinado de tiempo. Estos sistemas están orientados a satisfacer las necesidades de generación, almacenamiento, procesamiento e interpretación de los datos clínico-administrativos de cualquier institución hospitalaria (Orellana et al., 2016). Para el análisis de los datos de eventos contenidos en las trazas de ejecución surge una tecnología novedosa denominada minería de procesos (Aalst, 2011).

La minería de procesos es una disciplina de investigación relativamente joven que se ubica entre la inteligencia computacional y la minería de datos, por una parte, y la modelación y análisis de procesos, por otra (IEEE Task Force on Mining Process, 2011). Las técnicas de minería de procesos permiten extraer información no trivial y útil de los registros de trazas almacenados por sistemas de información, lo que permite un mayor seguimiento de las actividades de la vida hospitalaria.

La Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) es una institución de educación superior que radica en La Habana, Cuba. Está compuesta por seis facultades y quince centros de desarrollo de software, dentro de los que se encuentra el Centro de Informática Médica (CESIM). En el CESIM se desarrollan investigaciones sobre los beneficios que brinda la aplicación de la minería de procesos para las instituciones sanitarias. Dichas investigaciones están orientadas a implementar componentes para añadirle nuevas funcionalidades a los sistemas que se desarrollan, entre ellos el Xavia HIS, que cuenta con un componente para la extracción y transformación de trazas de procesos. El componente de extracción constituye la base para la personalización de técnicas de minería de procesos contenidas en plugins<sup>3</sup> del marco de trabajo ProM (Process Mining Framework).

Las técnicas de minería de procesos son empleadas para detectar variabilidad en los procesos del sistema Xavia HIS, permitiendo identificar incoherencias en los procesos sanitarios, mediante modelos precisos y comprensibles para usuarios no expertos en minería de procesos (Mazorra, 2015). Un grupo de investigaciones realizadas sobre el Xavia HIS han aportado la instanciación de la técnica Inductive visual Miner para generar modelos de procesos, en los cuales se detectan y visualizan la presencia de las eventualidades en la ejecución de los procesos de este sistema (Larrea y Pérez, 2015; Orellana et al., 2016) y la instanciación de la técnica Fuzzy Miner para detectar ruido a través del análisis de modelos generados que permiten una mejor comprensión (Sosa y Pereiras, 2015). Además, se ha obtenido como resultado el desarrollo de un componente a partir de la instanciación de la técnica Variants Miner y la perspectiva de tiempo de la Minería de Procesos, que permite obtener criterios cuantitativos y cualitativos

---

<sup>3</sup> Un plugin es aquella aplicación que, en un programa informático, añade una funcionalidad o una nueva característica al software. En nuestro idioma, por lo tanto, puede nombrarse al plugin como un complemento.

para la toma de decisiones clínico-administrativas y contar con un mecanismo para generar nuevos conocimientos (Castañeda y Valladares, 2015). Fueron desarrollados, además, componentes para la predicción basada en tiempo en la ejecución de actividades de proceso, identificación de cuellos de botella en flujos de proceso y análisis estadísticos en datos de eventos.

A partir de un diagnóstico sobre el estado actual del desarrollo de las técnicas de minería de procesos se identificaron un conjunto de limitantes:

- Cada componente funciona de forma independiente, no siendo recomendable por especialistas de minería de procesos, debido a que los análisis se complementan.
- La ubicación lógica de los componentes está sujeta al módulo Almacén del Xavia HIS, limitando los análisis de proceso en todo el sistema.
- El componente de extracción solo puede generar registros de eventos a partir de procesos definidos por el motor de flujo JBPM.
- Solo es posible analizar procesos informatizados en el sistema Xavia HIS.
- La conexión a los registros de eventos es de forma interna y dependiente de la base de datos del Xavia HIS.

La situación problemática descrita anteriormente permite identificar el **problema a resolver**: *los componentes desarrollados para el análisis de procesos en el Xavia HIS están limitados tecnológicamente al módulo Almacén del sistema, lo que dificulta la evaluación de los modelos de procesos hospitalarios en otros módulos y sistemas.*

El **objeto de estudio** sobre el cual se centra el problema es: *la gestión y minería de procesos de negocio en el entorno hospitalario*, enmarcado en el **campo de acción**: *técnicas de minería de procesos para el análisis de flujos en instituciones de salud desde el sistema Xavia HIS.*

A partir de lo anterior se determina como **objetivo general**: *desarrollar una herramienta informática, a partir de los componentes de minería de procesos del módulo almacén del sistema Xavia HIS, para generalizar el análisis y evaluación de flujos de procesos en el sistema.*

#### **Tareas de investigación:**

1. Elaboración del marco teórico-metodológico referente a los conceptos asociados a los procesos hospitalarios y la minería de procesos.
2. Análisis de las técnicas de minería de procesos desarrolladas e integradas al Xavia HIS.

3. Integración de las técnicas de minería de procesos desarrolladas en el Xavia HIS en una herramienta de análisis.
4. Desarrollo de un componente de comunicación con bases de datos para la extracción remota de registros de eventos.
5. Desarrollo de funcionalidades de extracción de datos de eventos al componente de extracción de registros de eventos.
6. Validación de los resultados obtenidos a partir de los métodos definidos en la investigación.

Los **métodos de investigación** utilizados para darle solución al objetivo propuesto fueron:

**Métodos teóricos:**

- **Analítico – Sintético** para descomponer el problema de investigación en elementos, profundizar en su estudio y luego sintetizarlos en la solución propuesta.
- **Modelación:** Se utilizó para desarrollar el flujo conceptual de la propuesta, con el fin de obtener abstracciones e interpretar la realidad.

**Métodos empíricos:**

- **Análisis documental:** en la revisión de la literatura especializada para extraer la información necesaria que permitió realizar el proceso de investigación.
- **Análisis comparativo:** para detectar similitudes, diferencias e insuficiencias en cuanto a la interpretación que brindan las herramientas existentes para modelar los procesos.
- **Observación:** para adquirir conocimiento del campo de acción a través de la investigación realizada sobre las herramientas.
- **Encuesta:** se aplicaron para medir la satisfacción de potenciales usuarios sobre la herramienta desarrollada

Con el desarrollo de la investigación se esperan una serie de posibles **beneficios:**

1. Una herramienta informática para la evaluación de la ejecución de procesos hospitalarios a partir de datos de eventos.
2. Nueva versión del componente de extracción de registros de eventos que posee el sistema Xavia HIS
3. Un componente de comunicación con bases de datos para la extracción remota de registros de eventos.

La estructura del documento se caracteriza por la presencia de: introducción, tres capítulos, conclusiones, bibliografías y los anexos. El contenido de cada capítulo se describe a continuación:

**Capítulo 1: Fundamentación teórica de la investigación**, dedicado a los fundamentos teóricos de la investigación. Se analiza una variedad de tecnologías y estándares presentes en la construcción de modelos de procesos y su capacidad para la evaluación de procesos. Se introduce y aborda la gestión por procesos de negocio y la minería de procesos como alternativa de solución.

**Capítulo 2: Propuesta de Solución**, describe la herramienta desarrollada para la evaluación de procesos hospitalarios, junto a la modelación del flujo de información, se describen los patrones arquitectónicos y los de diseño utilizados. Se describen las técnicas utilizadas y se presentan las configuraciones y métricas para su uso y aplicación.

**Capítulo 3: Validación de resultados**, contiene la evaluación de los resultados alcanzados en la investigación, a través de pruebas de software, y se determina el Índice de Satisfacción Grupal aplicando la técnica ladov a expertos y usuarios potenciales.

## 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 Procesos de negocio en instituciones hospitalarias

En un área tan competitiva como la medicina, las instituciones hospitalarias tienen que centrarse en racionalizar sus procesos en orden de lograr servicios de alta calidad, y al mismo tiempo reducir costos (Mans et al., 2008). Los procesos hospitalarios se pueden clasificar en procesos de tratamiento médico o clínicos y procesos organizacionales o administrativos (Rebuge y Ferreira, 2012); mientras que los procesos clínicos están relacionados directamente con los tratamientos de los pacientes, los procesos administrativos se enfocan en las actividades generales de la entidad. Por la naturaleza multidisciplinaria y el ambiente dinámico donde se ejecutan, los procesos hospitalarios son considerados dentro de los más complejos; estos se caracterizan por (Rebuge y Ferreira, 2012):

- *Alto dinamismo.* Los procesos cambian constantemente debido a la introducción de nuevos procedimientos administrativos, desarrollo de nuevas tecnologías y aparición de nuevas drogas. El conocimiento médico tiene una sólida formación académica que evoluciona constantemente, lo que significa que continuamente se descubren nuevos tratamientos y procedimientos de diagnóstico que pueden invalidar las vías de tratamiento actuales o requerir adaptaciones.
- *Alta complejidad.* La complejidad surge de factores como procesos de decisión médica complejos, grandes cantidades de datos a intercambiar y la imprevisión de pacientes y tratamientos. Además, la cantidad de datos que apoyan las decisiones médicas es grande y de varios tipos. Por otra parte, el paciente puede reaccionar diferentemente a las drogas, lo que conlleva a realizar nuevas consideraciones médica y complejizar aún más los procesos.
- *Carácter multidisciplinario incremental.* Las organizaciones sanitarias se caracterizan por un nivel cada vez mayor de departamentos especializados y disciplinas médicas, y por el incremento de los servicios prestados entre distintas instituciones dentro de las redes de atención médica.

- *Los procesos hospitalarios son “ad hoc”<sup>4</sup>*. La asistencia sanitaria depende en gran medida de la colaboración humana, y los participantes tienen la autonomía para decidir sus propios procedimientos de trabajo. Como los médicos tienen el poder de actuar de acuerdo con su conocimiento y experiencia, y deben desviarse de las pautas definidas para tratar situaciones específicas de pacientes, el resultado es que hay procesos con alto grado de variabilidad, carácter no repetitivo y cuyo orden de la ejecución no es determinista en gran medida.

En las instituciones sanitarias convergen numerosos tipos de actividades como pueden ser la actividad asistencial de primer nivel o especializada, la hostelería, la actividad económico administrativa, la ingeniería, el mantenimiento y toda una serie de actividades de apoyo y servicio que son imprescindibles y de muy diversas características. Debido a esta gran diversidad y a la complejidad inherente a todos los procesos que se ejecutan en las Instituciones Sanitarias, existen altas probabilidades de incurrir en errores y desaprovechar recursos tanto humanos como materiales (Orellana, 2015).

### 1.1.1 Variabilidad en procesos hospitalarios

En la literatura diversos autores abordan sobre la variabilidad, definiéndola de distintas maneras:

Carrera, 2013 define variabilidad como cambios inevitables que modifican el proceso (ya sean pequeños o casi imperceptibles) que afectan posteriormente al producto que se produce o al servicio que se ofrece.

Según Hernández et al., 2013 la variabilidad en los procesos hospitalarios está presente, cada vez que se repite un proceso y hay ligeras variaciones en las distintas actividades realizadas que, a su vez, generan variaciones en los resultados de cada ejecución.

La investigación utiliza la definición de, Hernández et al., 2013 puesto que está directamente dirigida a los procesos hospitalarios.

Dadas las características de los procesos hospitalarios, la variabilidad inherente a los mismos está fundamentalmente ligada a las características de los pacientes, sus problemas y las complicaciones que puedan presentar (Aalst, 2011). La variabilidad en procesos hospitalarios puede observarse en prácticamente cada paso del proceso asistencial y a varios niveles de agrupación (*i.e.*, poblacional e individual). Esta es influenciada por las características de los pacientes (sexo, grupo étnico, nivel socioeconómico), de los profesionales sanitarios (especialidad, edad, sexo, formación, experiencia,

---

<sup>4</sup> *Ad hoc* es una locución latina que significa “para esto”, es normalmente utilizado para referirse a lo que se dice o hace solo para un fin determinado (Real Academia Española, 2017).

sistema de pago), del hospital (tamaño, público o privado, rural o urbano, universitario o no) o del sistema sanitario (financiación, organización, cobertura)(Orellana, 2016).

La incertidumbre en la toma de decisiones es la hipótesis que más impacto ha tenido sobre la variabilidad en la práctica clínica (Fernández-Maya, 2015). Durante el proceso de diagnóstico y tratamiento se demandan recursos, acordes a las necesidades clínicas del paciente. La estructura organizacional y sus controles sobre pacientes y profesionales, el uso de servicios, protocolos, normas, límites de uso de servicios y las características del entorno sanitario como son la región geográfica, crean un margen de incertidumbre en ocasiones considerable e insostenible (Orellana, 2016).

Hasta el momento el foco de atención para la detección de variabilidad se ha dirigido a aquellas que conllevan un uso distinto de recursos, tanto por exceso como por defecto, o que tengan repercusión en la salud de los pacientes (Orellana, 2016).

### *1.1.2 Sistemas de información hospitalaria*

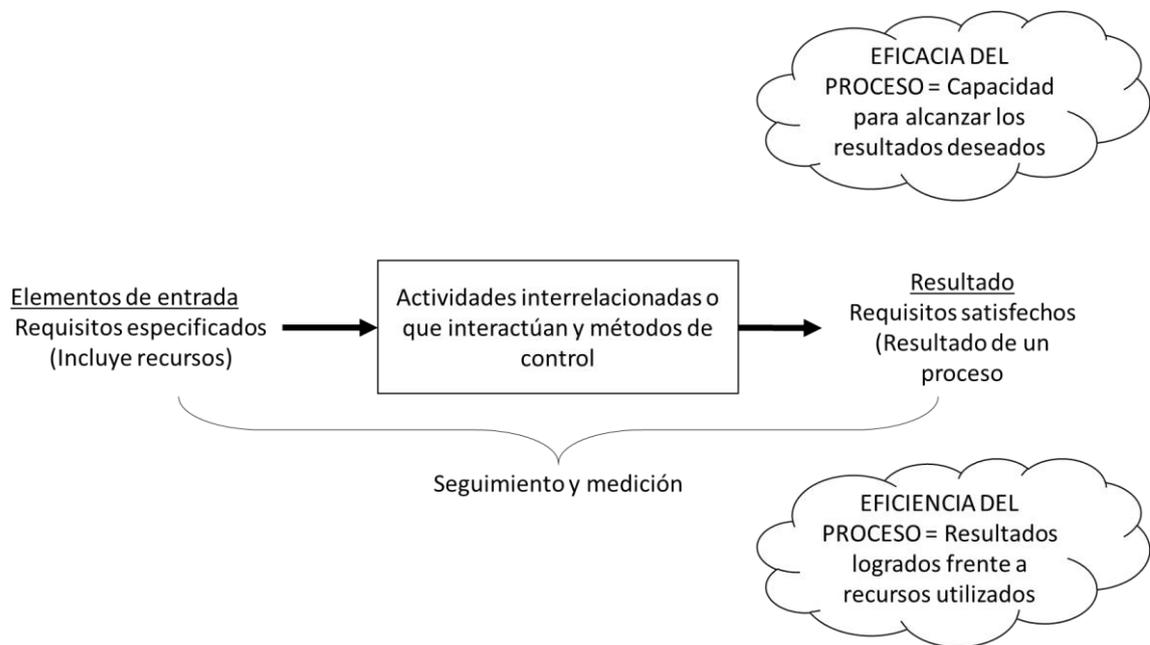
Un sistema de información hospitalaria es un software orientado a satisfacer las necesidades de generación de información, almacenar, procesar y reinterpretar datos médico-administrativos de cualquier institución hospitalaria. Permitiendo la optimización de los recursos humanos y materiales, además de minimizar los inconvenientes burocráticos que enfrentan los pacientes. Todo sistema de información hospitalaria genera reportes e informes dependiendo el área o servicio para el cual se requiera, dando lugar a la retroalimentación de la calidad de la atención de los servicios de salud (Cerritos et al., 2003).

## **1.2 Gestión por procesos de negocio**

El enfoque basado en procesos es un concepto que aparece en los años noventa del pasado siglo, con el objetivo de hacer más eficaz el funcionamiento de las organizaciones, además de aumentar el grado de satisfacción de los clientes. Con este enfoque se puede dar seguimiento a los procesos, permitiendo detectar errores y redundancias, así como gestionar los procesos interrelacionados. Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados (Orellana, 2015).

1.2.1 *Procesos de negocio*

Se entiende como proceso al conjunto de trabajos, tareas, operaciones correlacionadas o interactivas que transforma elementos de entrada en elementos de salida utilizando recursos(ISO, 2017). Luego un proceso de negocio es un conjunto de tareas relacionadas lógicamente llevadas a cabo para lograr un resultado de negocio definido. Cada proceso de negocio tiene sus entradas, funciones y salidas. Las entradas son requisitos que deben tenerse antes de que una función pueda ser aplicada, para obtener los resultados o salidas (Romango, 2010).



**Figura 1.** Representación de un proceso genérico (ISO/TC, 2008)

A pesar de que cada organización define sus propios procesos de negocio, estos se pueden de manera general clasificar como (ISO/TC, 2008):

- *Procesos para la gestión de la organización.* Incluyen procesos relativos a la planificación estratégica, establecimiento de políticas, fijación de objetivos, provisión de comunicación, aseguramiento de la disponibilidad de recursos para los otros objetivos de la calidad y resultados deseados de la organización y para las revisiones por la dirección.
- *Procesos para la gestión de recursos.* Incluyen todos los procesos que hacen falta para la proporcionar los recursos necesarios para los objetivos de calidad y resultados deseados de la organización.

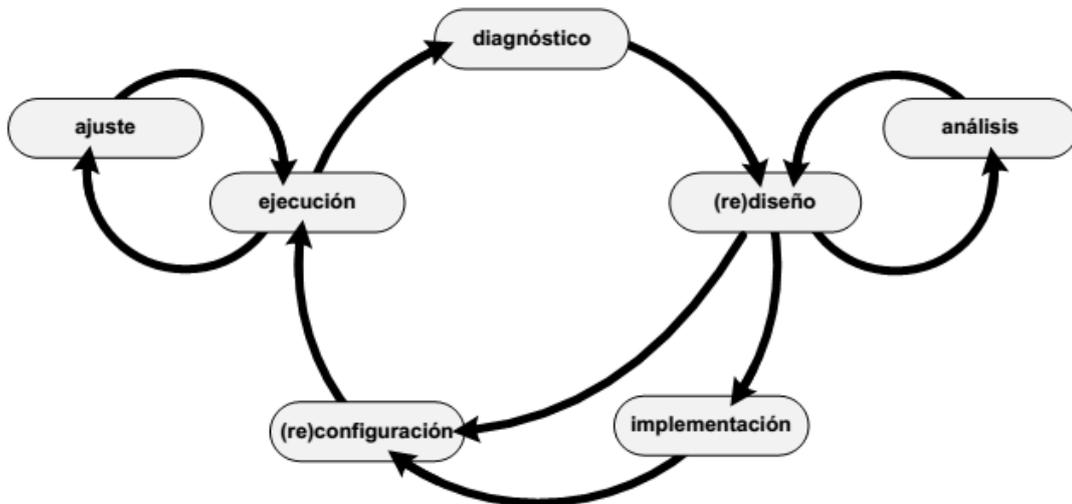
- *Procesos de realización.* Incluyen todos los procesos que proporcionan los resultados deseados por la organización.
- *Procesos de medición, análisis y mejora.* Incluyen aquellos procesos necesarios para medir y recopilar datos para realizar el análisis del desempeño y la mejora de la eficacia y la eficiencia. Incluyen procesos de medición, seguimiento, auditoría, análisis del desempeño y procesos de mejora (e.g., para las acciones correctivas y preventivas).

### 1.2.2 Gestión basada en procesos

Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan. A menudo el resultado de un proceso constituye directamente el elemento de entrada del siguiente proceso. La identificación y gestión sistemática de los procesos empleados en la organización y en particular las interacciones entre tales procesos se conoce como "enfoque basado en procesos" (NC/ISO-9001, 2015). El propósito del enfoque basado en procesos es mejorar la eficacia y eficiencia de la organización para lograr los objetivos definidos. En relación con la Norma ISO 9001:2008 esto supone aumentar la satisfacción del cliente satisfaciendo los requisitos del cliente (ISO/TC, 2008).

La Gestión de procesos de negocio permite, utilizando métodos, técnicas y software, diseñar, ejecutar, controlar y analizar procesos operacionales que involucran personas, organizaciones, aplicaciones, documentos y otras fuentes de información (Aalst, 2016). Además la BPM ha recibido considerable atención en los últimos años por su capacidad para mejorar resultados, rendimiento organizacional, competitividad y mantener bajos costos (Aalst, 2012; Buttigieg et al., 2016).

El ciclo de vida de la BPM (Figura 2) permite observar las siete fases de un proceso de negocio y sus correspondientes sistemas de información: (re)diseño, análisis, implementación, (re)configuración, ejecución, ajuste y diagnóstico (IEEE Task Force on Mining Process, 2011).



**Figura 2.** Ciclo de vida de la BPM (IEEE Task Force on Mining Process, 2011).

### 1.3 Modelo de proceso de negocio

En la literatura varios autores abordan sobre los modelos de procesos, algunas de las definiciones dadas por los mismos son:

En (Benghazi et al., 2011) se define que el modelado de procesos de negocio es la representación de los procesos de negocio de una empresa u organización con el objetivo de que puedan ser analizados y mejorados.

(Aalst, 2011) plantea que un modelo de proceso de negocio es una representación gráfica de interrelaciones y actividades que componen un proceso de negocio, permite describir el estado actual o previsto de dicho proceso de negocio, además son útiles para modelar la forma en que los recursos interactúan con el proceso.

(Orellana, 2016) define como modelo de proceso de negocio: la representación de un esquema teórico simplificado a partir de técnicas y herramientas especializadas, de las evidencias reales de ejecución de un sistema o de una realidad compleja, con el fin de contribuir a su comprensión y el análisis de su comportamiento.

La investigación utiliza el concepto presentado por (Orellana, 2016) por presentar ideas más acordes a la investigación.

### 1.3.1 Técnicas para modelar procesos hospitalarios

Un estudio de las técnicas para la modelación de procesos hospitalarios permite identificar un grupo de herramientas de representación de procesos, utilizadas como instrumento de mejora en disímiles instituciones de todo el mundo. Teniendo en cuenta que cada técnica presenta un enfoque y propósito diferente (e.g., nivel de detalle, uniones jerárquicas entre los mapas, tipos de flujos, estructura orgánica), se pueden obtener disímiles modelos que muestran la información de forma distinta.

Mapa de Cadena de Valor (en inglés: *Value Stream Map* o VSM) es una herramienta de gestión que permiten ver cómo se desarrollan las acciones y actividades de una empresa (IPYC Ingenieros en Calidad y Producción, 2017). Permite la identificación de los desperdicios y las actividades que agregan valor al producto final y poder así trazar un mapa con una visión futura y ayudar a identificar fuentes de ventaja competitiva. Se trata de una herramienta cualitativa en la que los datos se emplean para crear sentido de urgencia (Orellana, 2016).

Diagrama As-Is (tal como es) se utiliza para registrar cómo el proceso actual realmente opera, a través de la representación gráfica del flujo de trabajo o de información, lo cual brinda mejor visibilidad y permite el análisis de cada actividad. En la actividad de salud se ha incorporado también la utilización de estos diagramas, al comprobar que la Gestión por Procesos puede ser un instrumento de trabajo de aplicación exitosa y beneficiosa para mejorar la actividad asistencial (Hernández, 2006; Orellana, 2016).

El Método de Arriba-Abajo muestra los pasos principales del proceso desde los macro procesos hasta los subprocesos de cada uno jerárquicamente. Establece una serie de niveles de mayor a menor complejidad (arriba-abajo) que den solución al problema (Roth et al., 2013).

Diagrama OTIDA es una técnica gráfica de análisis de procesos internacionalmente conocida y estandarizada, que permite la representación de la secuencia de actividades, dentro de un proceso o un procedimiento, mostrando las actividades de Operación, Transporte, Inspección, Demoras y Almacenaje con sus correspondientes símbolos (Gualancañay y Xavier, 2013; René et al., 2015; Orellana, 2016).

Diagrama de recorrido es una técnica que traza los movimientos del producto o de sus componentes y se indican las actividades en los diversos puntos sobre un plano de la fábrica o zona de trabajo. Con este diagrama se pueden hacer dos tipos de análisis, el primero, de seguimiento al hombre, donde se analizan los movimientos y las actividades de la persona que efectúa la operación. El segundo, de seguimiento a la pieza, el cual analiza las mecanizaciones, los movimientos y las transformaciones que sufre la materia prima (Rodríguez, 2014; Hernandez, 2014).

El Diagrama de hilos muestra un modelo a escala, en el que se utiliza un hilo continuo para trazar los desplazamientos del operario, materiales o equipos. Se realiza durante una sucesión específica de acontecimientos y durante un período determinado de tiempo, con el fin de presentar la frecuencia de los desplazamientos entre diversos puntos y también para determinar las distancias recorridas (Gualancañay y Xavier, 2013; Orellana, 2016).

Los modelos de procesos de minería de procesos se obtienen a partir de la aplicación de uno de sus tres tipos. El primer tipo de minería de procesos es el descubrimiento, es el más aplicado y su objetivo es construir un modelo de proceso a partir de un registro de eventos sin utilizar ninguna información previa (Aalst, 2011). El segundo tipo de minería de procesos es el chequeo de conformidad y el tercer y último tipo de la minería de procesos es el mejoramiento o extensión (Orellana, 2016).

**Tabla 1. Análisis de herramientas para modelado de procesos (Orellana, 2015).**

Aspecto/Herramienta	VSM	AS-IS	Arriba-Abajo	OTIDA	Recorrido	Hilos	Técnicas MP
Vista global del proceso		X		X			X
Detectan eventualidades	X						X
Análisis de frecuencia de ejecución y flujo de actividades					X		X
Detección de ruido							X
Análisis de tiempo				X			X
Análisis de subprocesos	X	X					X

Un análisis comparativo realizado sobre las técnicas anteriores (ver Tabla 1), considerando las características deseadas para la detección de variabilidad en procesos hospitalario, permite observar que:

- Solamente tres herramientas presentan ofrecen una vista global del proceso (diagramas AS-IS, diagramas OTIDA y minería de procesos) (Hernández et al., 2010; Orellana, 2016).

- Solamente los Mapas de Cadena de Valor y la minería de procesos detectan eventualidades (Orellana, 2016).
- La frecuencia de ejecución y el flujo de actividades son elementos de interés para la investigación y es característico de dos de las técnicas analizadas (Diagramas de recorrido y la minería de procesos) (Mans et al., 2012; Hernandez, 2014; Mans et al., 2013; Fernández-Maya, 2015; Orellana, 2016).
- Los diagramas OTIDA y la minería de procesos son capaces de realizar análisis de tiempo (Orellana, 2016).
- El análisis de subprocesos es una capacidad de tres de las técnicas (Mapas de Cadena de valor, diagramas AS-IS y minería de procesos) (Orellana, 2016).

Partiendo del análisis anterior se concluye como la tecnología más completa, la minería de procesos. Además es recomendada para su aplicación en la salud por diversos autores de la literatura especializada (Caron et al., 2014; Cho et al., 2014; Fernández-Llatas et al., 2015; Micio et al., 2015; Orellana, 2016).

#### 1.4 Gestión y minería de procesos de negocio

El concepto minería de procesos surgió hace más de una década (Agrawal et al., 1998). La disciplina de minería de procesos también tiene sus raíces en el trabajo de Cook y Wolf, quienes propusieron el descubrimiento de modelos de procesos a partir de los datos contenidos en los registros de eventos (Cook y Wolf, 1999). Desde entonces ha sido objeto de numerosas investigaciones, y, por tanto, aplicada a la mayoría de las ramas de la sociedad: ingeniería, ciencias computacionales, educación, salud y el desarrollo de software (Orellana, 2015).

##### 1.4.1 Trazas

Los sistemas de información almacenan datos referentes a los procesos que se llevan a cabo en tiempo real (e.g., tiempo de inicio, actores del proceso, recursos involucrados, duración, etc.), en forma de trazas y eventos (Claes y Jans, 2012; Agarwal y Singh, 2014; Mazorra, 2015). Se considera traza al grupo de actividades (eventos) pertenecientes al mismo proceso de ejecución (e.g., todos los eventos de un

mismo actor, todas las ventas de un mismo tipo, etc.) (Agarwal y Singh, 2014). Las trazas son elementos fundamentales dentro del proceso de minería de datos<sup>5</sup>.

#### 1.4.2 Registro de eventos

Una de las actividades más complejas en la minería de procesos, dado que depende de la configuración y peculiaridades del sistema analizado, es la búsqueda y preparación de los datos (Claes y Jans, 2012). Para aplicar las técnicas de minería de procesos es necesaria la extracción de los registros de eventos de las *fuentes de datos* (*i.e.*, sistemas de información) (Process Mining Group of Eindhoven University, 2016). Según IEEE Task Force on Mining Process, 2011 un registro de eventos está compuesto por un conjunto de eventos registrados secuencialmente, donde cada evento hace referencia a una *actividad* (*i.e.*, paso bien definido en algún proceso, no asumido) y se relaciona a un caso en particular.

La Figura 3 muestra un registro de eventos donde se pueden observar un grupo de características expuestas por (Aalst, 2011), estas son:

- Un proceso está compuesto por casos.
- Un caso consiste en eventos, tales que cada evento se relaciona precisamente con un caso.
- Los eventos dentro de un caso están ordenados.
- Los eventos pueden tener atributos (*e.g.*, actividad, tiempo, costo y recurso).

---

<sup>5</sup> La minería de datos es un campo de la estadística y las ciencias de la computación referido al proceso que intenta descubrir patrones en grandes volúmenes de conjuntos de datos (Maimon y Rokach, 2010).

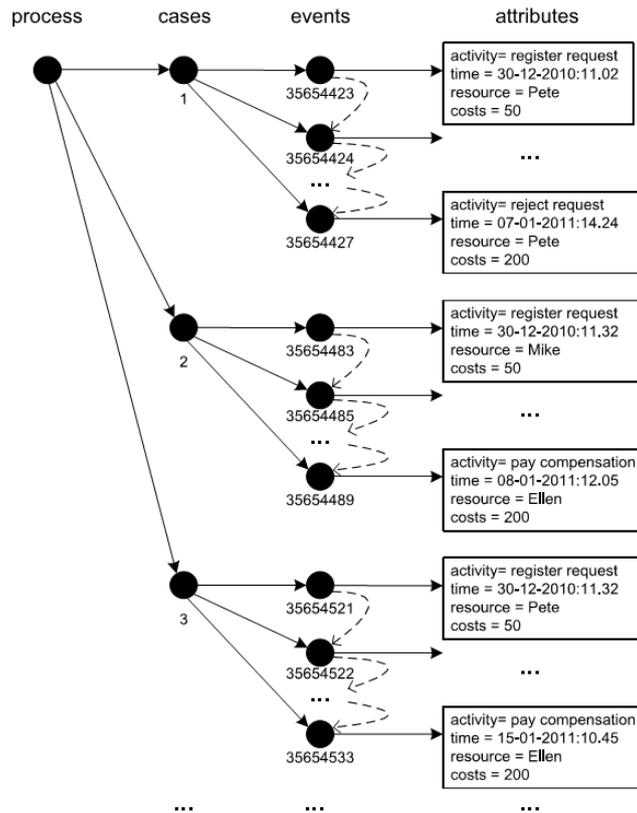


Figura 3. Registro de eventos (IEEE Task Force on Mining Process, 2011)

Para formalizar la estructura de los registros de eventos a utilizar en la Minería de Procesos se han definido dos estándares: *Mining eXtensible Markup Language (MXML)* y *eXtensible Event Stream (XES)*, siendo el último el que actualmente se utiliza por las ventajas que posee sobre MXML, al ser menos restrictivo y muchos más flexible (IEEE Task Force on Mining Process, 2011).

#### 1.4.2.1 Niveles de madurez

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. Además, 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 (IEEE Task Force on Mining Process, 2011; Medina y Méndez, 2015).

La **tabla 2** muestra los cinco niveles de madurez de los registros de eventos definidos por (IEEE Task Force on Mining Process, 2011) que van desde excelente calidad (nivel 5) hasta mala calidad (nivel 1). Para obtener beneficios de la Minería de Procesos, las organizaciones deben apuntar a registros de eventos en el nivel de calidad más alto posible.

**Tabla 2. Niveles de madurez de los registros de eventos (IEEE Task Force on Mining Process, 2011).**

<b>Nivel</b>	<b>Características</b>
5	Nivel más alto: el registro de eventos es de excelente calidad (confiable y completo) y los eventos están bien definidos. Los eventos se registran de manera automática, sistemática, confiable, y segura. Se toman en cuenta adecuadamente consideraciones acerca de la privacidad y la seguridad. Además, los eventos registrados y todos sus atributos tienen una semántica clara. Esto implica la existencia de una o más ontologías. Los eventos y sus atributos se refieren a esta ontología.
4	Los eventos se registran automáticamente y de manera sistemática y confiable. A diferencia de los sistemas operando a nivel 3, se da soporte de manera explícita a nociones tales como instancia de proceso y actividad.
3	Los eventos se registran automáticamente, pero no se sigue un enfoque sistemático para registrar los eventos. Sin embargo, a diferencia de los registros de eventos en el nivel 2, hay algún nivel de garantía que los eventos registrados calzan con la realidad. Aunque se necesita extraer los eventos de una variedad de tablas, se puede asumir que la información es correcta.
2	Los eventos se registran automáticamente como un subproducto de algún sistema de información. La cobertura varía y no se sigue un enfoque sistemático para decidir que eventos se registran. Además, es posible pasar por alto el sistema de información. Por lo tanto, pueden faltar eventos o estos pueden no registrarse correctamente.
1	Nivel más bajo: los registros de eventos son de mala calidad. Los eventos registrados pueden no corresponder a la realidad y pueden faltar eventos. Los registros de eventos en los cuales los eventos se registran manualmente suelen tener dichas características.

### 1.4.3 Minería de Procesos

La minería de procesos es una disciplina novedosa que brinda un conjunto de herramientas para proporcionar información basada en hechos y para respaldar la mejora de procesos (Aalst, 2011). 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 ampliamente disponibles en los actuales sistemas de información. Además provee un puente importante entre la minería de datos y la modelación y análisis de procesos de negocio (IEEE Task Force on Mining Process, 2011).

Todas las técnicas de minería de procesos asumen que es posible registrar eventos secuencialmente tal que cada evento se refiera a una actividad y se relacione a un caso particular (IEEE Task Force on Mining Process, 2011). Existen tres tipos de técnicas de minería de procesos estas son:

- *Descubrimiento*. Una técnica de descubrimiento toma un registro de eventos y produce un modelo sin usar ninguna información a-priori.
- *Conformidad*. Se compara un modelo de proceso existente con un registro de eventos del mismo proceso. La verificación de conformidad puede ser usada para chequear si la realidad, tal como está almacenada en el registro de eventos, es equivalente al modelo y viceversa.
- *Mejoramiento*. La idea es extender o mejorar un modelo de proceso existente usando la información acerca del proceso real almacenada en algún registro de eventos (IEEE Task Force on Mining Process, 2011; Aalst, 2011; Agarwal y Singh, 2014).

Dada la necesidad de evaluar los procesos de las instituciones hospitalarias, el tipo de minería de procesos a utilizar es el *descubrimiento*, porque permite determinar a partir de un registro de eventos, un modelo de proceso, que describe el comportamiento presente en el mismo.

#### 1.4.4 Técnicas de minería de procesos

##### *Replay P/C*

*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 (León y Dávila, 2016).

Esta técnica se caracteriza por:

- Detectar problemas.
- Extraer información de tiempo.
- Detectar cuellos de botella.

- Generar modelo integrado mostrando los tiempos de ejecución, estadía y espera.

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 y Aalst, 2012).

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 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 (León y Dávila, 2016).

La salida de esta técnica es crear un modelo de proceso integrado. Para registrar una eficiente interpretación de los resultados se debe conocer primeramente cada uno de los atributos que conforman este modelo. Al analizar las transiciones, esta técnica establece que mientras más oscura y gruesa sea la transición, mayor cantidad de veces se han ejecutado las actividades que representan el flujo. Esta representación permite en algunos casos definir a simple vista cuál es el flujo de actividades que más se ejecuta en el proceso del sistema bajo análisis (Perdomo y Cruz, 2015; León y Dávila, 2016).

### *Fuzzy Miner*

El *plugin* Fuzzy Miner está basado en el algoritmo Fuzzy Miner creado por Günther cofundador de Fluxicon en 2007 y está basado en medidas de significación<sup>6</sup> y correlación<sup>7</sup> para visualizar el comportamiento en los registros de eventos. Es el primer algoritmo que se ocupa directamente de los problemas de números grandes de actividades y comportamiento altamente no estructurado (Sosa y Pereiras, 2015).

Fuzzy Miner (FM) es un *plugin* de la herramienta ProM con el fin de optimizar y mejorar los procesos a los que se les aplique, se basa en la técnica Minería Difusa. Este es un *plugin* que permite generar

---

<sup>6</sup> significación: importancia de cada una de las actividades con respecto a los demás.

<sup>7</sup> correlación: es medida por el tiempo de ejecución de dos actividades.

modelos de procesos basados en grafos, partiendo de un registro de eventos. Hace uso de técnicas para la extracción y agrupación de actividades con el objetivo de representar un proceso que sea comprensible por los analistas de procesos. En estos modelos se pueden visualizar dos tipos de nodos, los que representan una actividad y los que representan un conjunto de actividades, los cuales reciben el nombre de clústeres. Para la obtención de estos modelos, FM cuenta con un conjunto de métricas de configuración que enriquecen la forma de representar la información del registro de eventos en el modelo de proceso (Günther y Aalst, 2007).

#### *Transition Systems Analyzer*

La técnica, también conocida como TS Analyzer, se encarga de generar un sistema de transiciones anotado a partir de un registro de eventos. Cada vez que se intenta detener el tiempo de conclusión de un determinado proceso, se toma la traza parcial del registro asociada a dicho proceso. Luego, mediante la función de representación de estado *Istate*, se asigna la traza parcial a un estado en el sistema de transición (Aalst et al., 2011).

Con esto es posible aprender de la información recopilada a partir de instancias de proceso anteriores que visitaron el mismo estado. Usando esta información, se hace una predicción, por ejemplo, basada en el tiempo promedio de terminación para instancias de proceso anteriores en un estado similar (Aalst et al., 2011).

TS Analyzer puede ser utilizada para predecir el tiempo restante de los casos en ejecución y cuando un caso no cumplirá con el tiempo de entrega, y de esta forma tomar medidas correctivas antes que posibles retrasos influyan negativamente en los indicadores (Aalst et al., 2011).

#### *Dotted Chart*

Dotted Chart Analysis (DCA), aunque en realidad no es una técnica de MP, se puede posicionar como una técnica de descubrimiento. Sin embargo, a diferencia de las técnicas existentes, hace hincapié en la dimensión temporal y no pone ningún requisito en la estructura del proceso. Proporciona una "vista de helicóptero" útil y puede usarse para localizar rápidamente problemas de rendimiento (Song y Aalst, 2011).

DCA devuelve un gráfico semejante a los diagramas de Gantt, permite la visualización de las instancias contenidas en el registro de eventos, que son descritas como puntos en un plano en el que una dimensión hace referencia a casos y la otra al tiempo de ejecución de eventos (Song y Aalst, 2011). Tiene

como objetivo ayudar en el análisis de rendimiento de procesos al representar los eventos gráficamente y calcular indicadores de desempeño (Echevarría y Borroto, 2017).

Entre las funcionalidades que ofrece esta técnica están mostrar:

- La posición del primer evento en el registro.
- La posición del último evento en el registro.
- Promedio de propagación.
- Propagación mínima.
- Extensión máxima.

Esta técnica puede ser aplicada a la mayoría de los sistemas de información que generen registro de eventos, se utilizan principalmente para auditar y controlar procesos (Song y Aalst, 2011). Al analizarse adecuadamente un registro con esta técnica, se puede obtener un gran conocimiento lo que ayuda a las organizaciones a mejorar considerablemente la calidad de sus servicios.

La técnica tiene como entrada un registro de eventos y posee como salida un gráfico de puntos muy similar a un diagrama de Gantt. En el gráfico, un punto representa un único evento en el registro. El mismo tiene dos dimensiones ortogonales: tiempo y tipos de componentes. El tiempo se mide en el eje horizontal del gráfico, mientras que, a lo largo del eje vertical, los tipos de componentes (Echevarría y Borroto, 2017).

#### *Social Network*

*“Mine for a working together social network”* una técnica de minería de procesos que permite identificar cómo interactúan las personas durante el desarrollo de un proceso aplicando métricas basadas en casos en común (Bratosin, 2011). Las métricas basadas en casos en común asumen que si los individuos trabajan juntos en los mismos casos entonces tendrán una relación más fuerte que los individuos que rara vez trabajan juntos. Tienen en cuenta cuán seguido dos individuos realizan actividades de forma conjunta en el mismo caso o proceso (Tito, 2017).

La técnica recibe un registro de eventos en formato estándar XES y produce como salidas un grafo o sociograma y una matriz social donde en ambos se representa la forma en que interactúan los individuos en la ejecución de los procesos.

## 1.5 Análisis del estado del arte

Luego de una búsqueda de sistemas automatizados para la obtención y análisis de modelos de proceso, dentro y fuera del ámbito nacional se observa la existencia de dos tipos fundamentales de herramientas, las académicas y las comerciales.

### **Herramientas académicas**

**ProM** (Process Mining Framework) es un marco extensible que admite una amplia variedad de técnicas de minería de procesos en forma de complementos. La herramienta ProM de código abierto y distribuida gratuitamente, 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 (Aalst, 2011; Verbeek, 2010). La herramienta requiere experiencia en minería de procesos y no está respaldada por una organización comercial. Por lo tanto, tiene las ventajas y desventajas comunes para el software de código abierto (Aalst, 2009).

**Disco** es una aplicación completa de minería de procesos desarrollada por Fluxicon en 2009 (Fluxicon, 2015), es la herramienta más usada dentro de las privativas, posee una licencia gratuita limitada con fines académicos. Implementada con el objetivo de ser una herramienta profesional para el apoyo a las organizaciones en el control de sus procesos. Así mismo, es totalmente compatible con la herramienta académica ProM en sus versiones 5 y 6.

### **Herramientas comerciales**

**ARIS Process Performance Manager** (ARIS PPM) es una herramienta desarrollada por Software AG la cual permite a las empresas supervisar y analizar el rendimiento y la estructura de sus procesos empresariales. El ARIS PPM cuenta con funcionalidades como: supervisión de los valores de destino y del estado actual; medición del rendimiento de los procesos; análisis de comunicación y actividades de departamentos y otras unidades organizativas, entre otras funcionalidades que posibilitan a los usuarios visualizar automáticamente modelos de procesos reales a partir de los datos del sistema y de este modo realizar comparaciones de los objetivos frente a los valores reales de los flujos de trabajo (Software AG, 2011).

**Discovery Analyst** producto desarrollado por StereoLOGIC extrae los procesos de negocio de las aplicaciones en tiempo real, con el objetivo de crear modelos de procesos, que se pueden utilizar para fines de visualización, comparación, validación y ampliación de los mismos. Los procesos de negocio se generan automáticamente en mapas de procesos de formato estándar BPMN y apoya la exportación del

modelo en Microsoft Word, iGrafx e IBM WebSphere Business Modeler para su posterior mejora y transformación (Orellana, 2015).

**QPR ProcessAnalyzer** es un software comercial automatizado de descubrimiento de procesos, el cual permite a su organización 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 la realidad y permite analizar desde múltiples ángulos, así como profundizar en los casos individuales (QPR Software, 2011).

*Tabla 3. Características de aplicaciones para la minería de procesos. Fuente: elaboración propia*

Herramienta	Licencia	Extraer R.E.	Análisis intuitivo	Multiplataforma	Variabilidad
<b>ProM</b>	Libre	No	No	Si	No
<b>Disco</b>	Privativo, licencia gratuita con fines académicos.	No	Si	Si	No
<b>ARIS</b>	Privativo	No	Si	No	Si
<b>Discovery Analyst</b>	Privativo	No	Si	No	No
<b>QPR Process Analyzer</b>	Privativo	No	Si	No	No

Tras un estudio de los principales sistemas automatizados para la obtención y análisis de modelos de proceso, se observa la existencia de potentes herramientas para la minería de procesos. Sin embargo, estos sistemas no dan solución al problema presentado en la investigación, puesto que la mayoría son desarrollados como softwares privativos, no han sido pensados para su aplicación en el ámbito hospitalario, y todas dependen de herramientas externas para generar registros de eventos (ver Tabla 3). Las herramientas a pesar de ser genéricas, no presentan un enfoque hacia la detección de variabilidad en los procesos hospitalarios.

La mayoría de las herramientas presentan una interfaz que ofrece un análisis intuitivo, solamente PROM carece de ello, por lo que se necesita tener conocimientos previos sobre minería de procesos y los algoritmos relacionados a la misma para poder trabajar a plenitud con la herramienta.

Solo Disco y PROM son multiplataforma, es decir que pueden ser utilizadas en distintos sistemas operativos, sin importar si son privativas o no; lo que constituye un factor importante dada la cantidad de sistemas existentes. ProM por poseer licencia L-GPL es la única de estas herramientas que permite extraer su código y utilizarlo en otros proyectos. Por otro lado, Disco presenta una interfaz sencilla y amigable que permite mayor interacción de los usuarios, pero a pesar de tener una licencia con fines académicos, es un software privativo y no se puede acceder a su código.

A partir de lo planteado anteriormente y teniendo en cuenta las deficiencias de las herramientas de minería de procesos, se decide desarrollar una aplicación que cumpla con el objetivo de la investigación.

## 1.6 Ambiente de trabajo

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 las herramientas se encuentran diversos marcos de trabajo (framework, por su nombre en inglés) que ayudaron a dar cumplimiento 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 (León y Dávila, 2016).

### 1.6.1 Motor de flujo jBPM

jBPM es un motor de flujo de trabajo de código abierto escrito en Java que puede ejecutar los procesos de negocio que se describen en BPMN 2.0 (o su propio lenguaje de definición de procesos jPDL en versiones anteriores). Es un motor de flujo de información de las actividades de los procesos que, de forma estructurada y secuencial, registra las evidencias de las acciones y sucesos para ser guardadas en registros de eventos (JBPM, 2016).

El Xavia HIS almacena sus trazas en la bitácora del sistema apoyado del motor de flujo jBPM, De esta forma, se propicia una fuente de información útil para obtener modelos de procesos y analizar la variabilidad en su ejecución. Para aplicar minería de procesos en el Xavia HIS y analizar la existencia

de variabilidad en sus procesos, es necesario el uso de un grupo de herramientas enfocadas a la extracción de los datos generados por el motor de flujo jBPM (Orellana, 2015).

### 1.6.2 Lenguaje

**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).

### 1.6.3 Tecnologías

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 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 API<sup>8</sup> 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, 2016).

---

<sup>8</sup>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.

### **Hibernate v3.3**

Hibernate es una herramienta de mapeo objeto relacional. Es una tecnología de software libre distribuida bajo los términos de la licencia GNU<sup>9</sup> 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).

### **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).

### **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.

### **JFreeChart v1.0.19**

Es una librería gráfica de Java gratuita que proporciona objetos y algoritmos gráfico, bajo la licencia GNU. JFreeChart proporciona funcionalidad para la visualización e interacción con gráficos. Algunos ejemplos de aplicaciones que es posible escribir con ella son un editor de flujo de trabajo, un

---

<sup>9</sup> 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.

organigrama, una herramienta de modelado de procesos de negocio, una herramienta UML. Además, se puede exportar a formatos como SVG (Gráficos vectoriales), XML, PNG, JPEG y otros (Gilbert, 2014).

#### 1.6.4 Herramientas

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.

#### **Entorno Integrado de Desarrollo NetBeans 8.2**

Un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Los *IDEs* pueden ser aplicaciones por sí solas o pueden ser parte de aplicaciones existentes. Proveen un marco de trabajo amigable para la mayoría de los lenguajes de programación. NetBeans es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo el mundo (Bök, 2012; Salter y Dantas, 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 (Aalst, 2011; Verbeek, 2010). Es utilizado en la investigación para validar la veracidad de la solución propuesta.

#### **Sistema gestor de bases de datos: PostgreSQL**

Un sistema gestor de base de datos se define como el conjunto de programas que administran y gestionan la información contenida en una base de datos. Como Sistema Gestor de Base de Datos (SGBD) se utilizó PostgreSQL 10 que es un conjunto de programas no visibles al usuario final que se encargan de la privacidad, la integridad, la seguridad de los datos y la interacción con el sistema operativo. La versión 10 es la última estable del producto, que fue desarrollado por una comunidad conocida como PostgreSQL Global Development Group (PGDG). Por las características antes mencionadas y por ser de amplia utilización en nuestra universidad, se decidió utilizar este sistema (Oquendo et al., 2011).

Conclusiones parciales:

- La especificación de los conceptos asociados al campo de acción permitió contextualizar los principales términos abordados en el capítulo y la investigación en general.
- Los procesos hospitalarios presentan un elevado nivel de variabilidad, lo que dificulta su evaluación y la toma de decisiones.
- La minería de procesos es recomendada para el tratamiento de procesos hospitalarios y la detección de la variabilidad inherente a los mismos.
- Las herramientas para la modelación y análisis de procesos existentes actualmente no facilitan la usabilidad y entendimiento de las técnicas de minería de procesos.
- Las técnicas de minería de procesos desarrolladas para el marco de trabajo PROM, dificultan su utilización por parte de usuarios no expertos en el tema, debido a la complejidad de sus métricas y configuraciones.
- La integración de las técnicas de minería de procesos incluidas en el Xavia HIS requiere de un grupo de personalizaciones para facilitar su utilización por parte de usuarios no expertos.

## Capítulo 2. Propuesta de solución

El capítulo describe los elementos fundamentales de la propuesta de solución, además de los elementos que se tuvieron en cuenta en el desarrollo de la herramienta informática, para propiciar la evaluación de procesos hospitalarios desde el módulo Almacén del sistema Xavia HIS. Se describen las características, métricas y configuraciones de las técnicas de minería de procesos integradas en la herramienta ActiFlow Miner. Se presentan los elementos utilizados en la creación del componente de extracción y transformación de trazas, así como las características y clasificación de los registros de eventos generados por la misma. Las descripciones de los componentes están acompañadas de ejemplos que ilustran su funcionamiento y uso.

### 2.1 Propuesta de solución

La propuesta de solución consiste en integrar en una herramienta informática, los componentes de análisis de minería de procesos del módulo Almacén del sistema Xavia HIS, para propiciar la evaluación de procesos hospitalarios en otros módulos y sistemas de información de salud.

Las técnicas integradas a la herramienta posibilitarán a los usuarios distintos tipos de análisis. La técnica Fuzzy Miner obtendrá una vista de la frecuencia de ejecución del proceso y las desviaciones en su flujo de actividades, la técnica Replay P/C propiciará realizar análisis de la formación de cuellos de botella y el tiempo de ejecución de las actividades. Por su parte la técnica TS Analyzer permitirá predecir el tiempo de ejecución de las actividades en tres formatos de tiempo distintos: tiempo transcurrido, tiempo de estadía y tiempo restante, la técnica Dotted Chart mostrará un resumen que permitirá analizar el tiempo de ejecución de las actividades. Por último, la técnica Social Network mostrará la interacción social entre los recursos del sistema.

Para lograr dicho objetivo se desarrolla un componente para extraer registros de eventos a partir de los procesos del sistema Xavia HIS; este se conecta a la base de datos del sistema y extrae la información de la ejecución de las actividades. La herramienta funciona de forma externa al Xavia HIS, y posibilita cargar registros de eventos externos al sistema.

El registro de eventos, ya sea generado por el componente de extracción o generado por otro sistema, es analizado por cada una de las técnicas de minería de procesos incluidas en la herramienta. Dichas técnicas modelan la información en cuanto a flujos y tiempos de ejecución, lo que permite:

- Analizar el tiempo de ejecución de los procesos.
- Detección de variabilidad del sistema

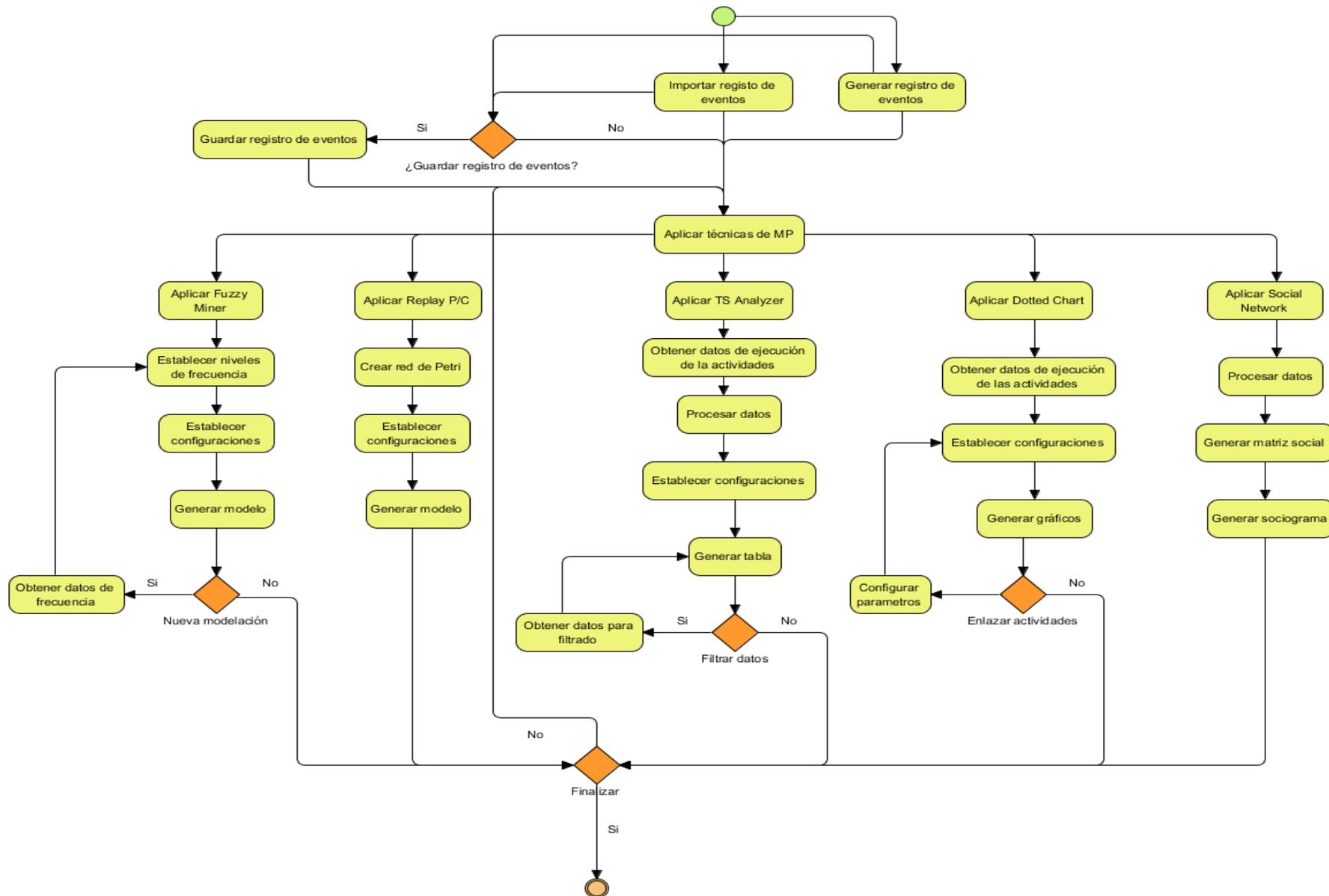
- Identificar cuellos de botella
- Identificar desviaciones que se pueden presentar en la ejecución de procesos que se modelan

La Figura 4 muestra el diseño conceptual de la herramienta ActiFlow Miner, el cual describe de forma gráfica el flujo conceptual del componente a desarrollar. En el mismo se tienen en cuenta todos los aspectos descritos en la presente investigación y que son necesarios para cumplir el objetivo planteado.



**Figura 4.** Diseño conceptual de la herramienta ActiFlow Miner. Fuente: elaboración propia

La Figura 5 muestra una descripción visual de las actividades implicadas en los procesos de la herramienta ActiFlow Miner. Muestra la relación secuencial entre ellas, facilitando la rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás.



**Figura 5.** Diagrama de flujo de actividades de la herramienta ActiFlow Miner. Fuente: elaboración propia

## 2.2 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) (Aalst, 2008).

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 (Pérez y Reyes, 2016; León y Dávila, 2016).

## 2.3 Patrones de diseño utilizados en la propuesta de solución

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).

Los patrones de diseño son soluciones a problemas comunes en el diseño de aplicaciones. Su implementación en la programación ahorra tiempo y mejora el software haciéndolo más eficiente, dinámico y seguro. En un momento dado estos patrones son una solución efectiva a un problema determinado y puede ser reusable aplicándose a otros problemas de diseño en distintas circunstancias (León y Dávila, 2016).

### 2.3.1 Patrones de diseño GRASP

Entre los patrones de diseño se encuentran los patrones GRASP (*General Responsibility Assignment Software Patterns*). Estos patrones describen los principios fundamentales de diseño de objetos para la asignación de responsabilidades (Colectivo de Autores, 2012). Los mismos tuvieron una importante utilidad en el diseño de la propuesta de solución, asignándose a cada clase las tareas que podían realizar según la información que poseía, además de crear las instancias de otras clases en correspondencia

con la responsabilidad dada. 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 realizarlo 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:** 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 red de Petri y de construir los objetos de tipo *Actividad* para conformar una lista (Larman, 2003).

**Creador:** Está evidenciado en la clase *ReplayControl* que crea las instancias de las clases *ManifestPerf* y *Actividad* (Larman, 2003).

**Bajo Acoplamiento:** Se pone de manifiesto en la clase *ReplayControl* al asignarle sus responsabilidades, de forma tal que pudiera ser independiente de las demás clases (Larman, 2003).

**Alta Cohesión:** Se manifiesta en todas las clases de la vista de análisis desarrollada, cada una presenta y maneja la información que necesita (Larman, 2003).

## 2.4 Estándares de codificación

La adopción de estándares de estilo y codificación son de vital importancia para asegurar la calidad del software. Un código fuente completo debe reflejar un estilo armonioso, como si un único programador hubiera escrito todo el código de una sola vez. Si bien los programadores deben implementar un estándar de forma prudente, este debe estar bien definido a nivel departamental, por tanto, al comenzar un proyecto de software es necesario establecer un estándar de codificación único para asegurarse de que todos los programadores del proyecto trabajen de forma coordinada.

Las convenciones de código o estándares de codificación son importantes para los programadores por un gran número de razones (Calleja, 2014):

- El 80% del costo del código de un programa va a su mantenimiento.
- Casi ningún software es mantenido toda su vida por el autor original.
- Las convenciones de código mejoran la lectura del software lo que permite entender código nuevo de manera más óptima y rápida.
- Si distribuyes tu código fuente como un producto, necesitas asegurarte de que está bien hecho y presentado como cualquier otro producto.

A continuación, se presentan algunos de los estándares de codificación definidos y aplicados al sistema:

- Se debe utilizar como idioma el español, las palabras no se acentuarán.
- Todos los ficheros fuentes deben comenzar con un comentario en el que se lista el nombre de la clase, información de la versión, fecha y copyright.
- Las líneas en blanco mejoran la facilidad de lectura separando secciones de código que están lógicamente relacionadas. Se deben usar siempre dos líneas en blanco en las siguientes circunstancias:
  - Entre las secciones de un fichero fuente.
  - Entre las definiciones de clases e interfaces.
- Se debe usar siempre una línea en blanco en las siguientes circunstancias:
  - Entre métodos.
  - Entre las variables locales de un método y su primera sentencia.
  - Antes de un comentario de bloque o de un comentario de una línea.
  - Entre las distintas secciones lógicas de un método para facilitar la lectura.
- Se debe dar un espacio en blanco en la siguiente situación:
  - Entre una palabra clave del lenguaje y un paréntesis.
- Respecto a las normas de inicialización, declaración y colocación de variables, constantes, clases y métodos:
  - Todas las instancias y variables de clases o métodos empezarán con minúscula. Las palabras internas que lo forman, si son compuestas, empiezan con su primera letra en mayúsculas. Los nombres de variables no deben empezar con los caracteres guion bajo "\_" o signo de peso "\$", aunque ambos están permitidos por el lenguaje.
  - Los nombres de variables de un solo carácter se deben evitar, excepto para variables índices temporales.
  - Los nombres de las variables declaradas como constantes deben aparecer totalmente en mayúscula separando las palabras con un guion bajo ("\_").
  - Los nombres de las clases deben ser sustantivos, cuando son compuestos tendrán la primera letra de cada palabra que lo forma en mayúscula. Mantener los nombres de las clases simples y descriptivas. Usar palabras completas, evitar acrónimos y abreviaturas.
  - Los métodos deben ser verbos, cuando son compuestos tendrán la primera letra en minúscula y la primera letra de las siguientes palabras que lo forman en mayúscula.
- Respecto a la indentación y longitud de la línea:

- Se deben emplear cuatro espacios como unidad de indentación. La construcción exacta de la indentación (espacios en blanco contra tabuladores) no se especifica. Los tabuladores deben ser exactamente cada ocho espacios.
- Evitar las líneas de más de ochenta caracteres, ya que no son manejadas bien por muchas terminales y herramientas.

## 2.5 Técnicas de minería de procesos

La herramienta integra un grupo de técnicas de minería de procesos (Replay P/C, Fuzzy Miner, TS Analyzer, Dotted Chart y Social Network), que permiten obtener modelos con diferentes análisis, favoreciendo la evaluación de los procesos hospitalarios en el sistema Xavia HIS. Para realizar la integración de las técnicas a la herramienta se hizo necesario realizar un grupo de personalizaciones (presentadas a continuación) que permitieran simplificar los pasos y configuraciones para obtener los distintos modelos.

### 2.5.1 *Replay P/C*

La técnica genera un modelo relacionado directamente con el análisis temporal que posibilita identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos (León y Dávila, 2016). Además, permite identificar intuitivamente la formación de cuellos de botella en la ejecución de los procesos, para los usuarios que no tengan conocimientos del tema.

#### *Medidas y métricas*

Algunas de las técnicas que contiene el marco de trabajo ProM permiten ser configuradas; en 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. 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 (León y Dávila, 2016).

### 2.5.2 *Fuzzy Miner*

La técnica genera un modelo basado en grafos donde existen dos tipos de nodos, los que representan una actividad y los que agrupan un conjunto de actividades denominado clústeres. Es capaz de detectar

y manejar con éxito la presencia de ruido (Günther y Aalst, 2007; Orellana, 2015). En la actual investigación propiciará un análisis de la frecuencia de ejecución de las actividades de proceso. Así mismo, permitirá detectar ruido en los procesos, a partir de su registro de eventos.

### *Configuraciones de las métricas*

Las configuraciones de métricas presentadas a continuación están basadas en los artículos (Process Mining Group, 2009; Li, 2010; Günther y Aalst, 2007; Sosa y Pereiras, 2015; García y Pérez, 2016).

Existen tres tipos de mediciones (significado unario, binario y correlación) y cada una tiene métricas de configuración:

**Métricas de Significado Unario:** Comportamiento de las actividades en el registro de eventos.

- Significado de frecuencia: Está dado por la cantidad de veces que se repite una actividad con respecto a todas las demás en un registro de eventos. La métrica es normalizada, por tanto, la actividad que más se repite toma el valor de uno mientras que el valor de frecuencia de las demás es calculado a partir de ella.
- Significado de enrutamiento: Está dado por el balance que exista entre los arcos que entran a un nodo y los que salen de él. Mientras mayor sean las conexiones con otras actividades (mayor cantidad de arcos que entran y salen) será mayor significado de enrutamiento.

**Métricas de Significado Binario:** Comportamiento de las relaciones de precedencia (o aristas) entre nodos.

- Significado de distancia: Está dado por la relación que exista entre el significado de la actividad origen con el significado de la actividad objetivo. El valor que tome será el menor valor de significado entre las dos actividades. Esta métrica es indispensable para aislar comportamientos de interés.

**Métricas de Correlación Binaria:** Mide cuán relacionado está una actividad de otra. La correlación binaria es la que maneja la decisión entre la agregación o la abstracción de los comportamientos menos significativos.

- La correlación de proximidad: Evalúa la ocurrencia de un evento con respecto a otro, mientras menor tiempo de ejecución mayor correlación. Esta métrica es importante para identificar *cluster* de eventos que corresponde a una sola actividad lógica. La correlación originadora: Se tiene en

cuenta el nombre de la persona que llevo a cabo la sub-secuencia de dos eventos. Mientras mayor similitud tengan los nombres, mayor será el valor de correlación.

- La correlación de punto final: Es similar a la correlación originadora sin embargo la comparación que se tiene en cuenta es el nombre del recurso con el nombre de la actividad entre las dos sub-secuencia de actividades. Mientras más similares sean los nombres, mayor será el valor de correlación.
- La correlación tipo de datos: En la mayoría de los registros, se incluyen atributos adicionales. Estos atributos son interpretados en el contexto en el que son usados. Esta métrica evalúa cada actividad. Mientras mayor cantidad de atributos existan y sean comunes entre las dos actividades, mayor será su correlación.
- La correlación valor de datos: Es semejante a la correlación tipo de datos, pero no tiene en cuenta el tipo de datos si no los valores que contengan los atributos que son comunes. Un pequeño cambio en un atributo comprometerá el valor de la correlación.

#### Configuración de medición

Fuzzy Miner no se limita a medir solamente las medidas de significación y correlación de dos actividades sino que también puede medir las relaciones a largo plazo (Sosa y Pereiras, 2015).

**Atenuación:** La atenuación más simple es la **Linear attenuation** (atenuación lineal), que garantizará la atenuación con la distancia de eventos. La atenuación  **$N^{\text{th}}$  root whit radical** (raíz n-ésima con radicales) permite la atenuación negativa exponencial para configurar la función *Nth root*. Un valor relativamente alto atenuará progresivamente los puntos de mayor distancia de medida, que es útil cuando desea centrarse en las relaciones a corto plazo. Un valor relativamente bajo ayuda a identificar mejor las actividades que constituyen ruido en el registro de eventos (Process Mining Group, 2009).

En la personalización del complemento Fuzzy Miner 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 ir descartando el modelo las que representan ruido según el criterio del usuario (Sosa y Pereiras, 2015).

El objetivo final de Fuzzy Miner es crear una representación gráfica apropiada del proceso que se encuentra en el registro. La notación gráfica es bastante sencilla, los nodos cuadrados representan actividades. Los comportamientos correlacionados menos significativos se descartan, es decir, los nodos y arcos que entran en esta categoría se eliminan de la gráfica. Mientras que los grupos coherentes de

comportamientos menos significativos y altamente correlacionados se representan de forma agregada en un clúster, quienes a su vez son representados como octágonos azules (Sosa y Pereiras, 2015).

### 2.5.3 Transition System Analyzer

La técnica TSAalyzer es una técnica de análisis implementada para ser ejecutada en el marco de trabajo ProM. Sus entradas son un registro de eventos y un sistema de transición. Este sistema de transición es obtenido luego de ejecutar un registro de eventos en la técnica TSMiner (Martínez y González, 2017). Para lograr su integración se realizó una personalización de la técnica. Dicha personalización consta de cuatro fases, las cuales son explicadas a continuación.

- **Obtener registro de eventos** se obtiene del componente para la extracción y transformación de trazas el registro de eventos, que es el encargado de conectarse a la base de datos del Sistema Xavia HIS y generar el registro de eventos solicitado; o mediante el componente para cargar registro de eventos externos.
- **Generar el sistema de transición** se toma el registro de eventos y la técnica TSMiner lo recibe por parámetros, esta contiene un conjunto de métricas de entrada. Estas métricas de entrada son definidas algunas automáticamente y otras toman valores por defecto para facilitarle el trabajo al usuario final.
- **Obtener métricas para el análisis** se obtiene el registro de eventos y el sistema de transición y se le configura por parámetros a la técnica TSAalyzer. Esta genera un árbol de decisión donde cada nodo representa una actividad dentro del proceso y las métricas asociadas en una tabla. Esta vista no es entendible para un usuario sin conocimientos básicos de minería de procesos.
- **Mostrar datos para el análisis** se exponen las métricas de salida producto del árbol de decisión, en una tabla donde son más entendibles para el usuario final.

### 2.5.4 Dotted Chart

El gráfico modelado por la técnica permite observar las instancias contenidas en los registros de eventos y puede usarse para localizar rápidamente problemas de rendimiento (Song y Aalst, 2011). Al analizarse adecuadamente un registro con esta técnica, se puede obtener un gran conocimiento lo que ayuda a las organizaciones a mejorar considerablemente la calidad de sus servicios.

### *Métricas y configuraciones*

Esta técnica ofrece múltiples opciones de tiempo. Estas opciones determinan la posición del evento en la dimensión de tiempo horizontal (Song y Aalst, 2011). Estas son:

- Opción de tiempo relativo: consiste en el uso de marcas de tiempo real, es decir, el momento en el que el evento sucedió realmente es usado en la posición del punto correspondiente.
- Opción proporción relativa: permite extender cada caso para terminar al mismo tiempo. De esta forma se puede ver la distribución relativa de los eventos dentro de cada instancia de proceso.
- Opción lógica: ordena los eventos según la marca de tiempo y les otorga un número secuencialmente. Por ejemplo, el primer evento tiene el número 0, el segundo el número 1 y así sucesivamente.
- Opción lógica relativa: combina la idea de las marcas de tiempo, pero comenzando todas las instancias en el tiempo 0.

DCA muestra la propagación de eventos en un registro de eventos. Por esta razón, es difícil mostrar valores de rendimiento tradicionales, tales como tiempos y tiempos de ejecución de las tareas en espera. Sin embargo, puede proporcionar las métricas para cada componente (Song y Aalst, 2011).

Existen dos tipos de métricas de rendimiento, las métricas para el registro de eventos en general y las métricas para cada componente (Song y Aalst, 2011).

Para el registro global de eventos, las métricas analizadas son:

- Posición del primer evento en el registro
- Posición del último evento en el registro
- Diferencial medio
- Tasas mínimas
- Extensión máxima, que puede ser calculada

Para cada tipo de componente, las métricas analizadas son:

- Posición del primer evento en un componente
- Posición del último evento en un componente
- Intervalo medio entre eventos
- Intervalo mínimo entre eventos
- Máximo intervalo entre los eventos

### 2.5.5 Social Network

Las métricas a aplicar mediante la técnica seleccionada son las métricas basadas en casos en común. Las métricas basadas en casos conjuntos ignoran las dependencias causales, simplemente cuentan la frecuencia con la que dos personas realizan actividades para el mismo caso. Los individuos que trabajan en casos en común tienen una relación más fuerte que los individuos que raramente trabajan de forma conjunta (Tito, 2017).

## 2.6 Componente de extracción y transformación de trazas

El componente para la extracción y transformación de trazas se conecta a la bitácora del sistema Xavia HIS, donde se registran las evidencias de las acciones y sucesos, para generar el registro de eventos. El componente se conecta a la base de datos del Xavia HIS donde realiza una exploración de los atributos existentes en las tablas, correspondientes con el proceso deseado, para poder generar eventos y trazas.

Los atributos y tablas analizados son:

De la tabla: *jBPM\_processdefinition*, se extrae:

- Identificador del proceso seleccionado
- Nombre del evento

De la tabla: *jBPM\_processinstance*, se extrae:

- Identificador de las instancias de proceso: *procinst\_*

De la tabla: *jBPM\_taskinstance*, se extrae:

- Nombre de la instancia del proceso: *name\_*
- Descripción de la instancia del proceso: *description\_*
- Actor del de la instancia del proceso: *actorid\_*
- Fecha de creación de la instancia del proceso: *create\_*
- Fecha de finalización de la instancia del proceso: *end\_*

El componente se basa, para la creación del registro de eventos, en un fichero XLog (sin información) que cumple con el estándar XES; partiendo de este se crea un nuevo fichero con las mismas características del original, donde se insertan las trazas y eventos generados a partir de la información obtenida de la base de datos.

El resultado de la ejecución de este componente es un registro de eventos que cumple con los estándares necesarios para aplicar las técnicas de minería de procesos necesarias para la evaluación de los procesos hospitalarios. El componente permite además seleccionar los parámetros para generar el registro de eventos, estos son: Nombre del proceso, Rango de fechas (inicial y final).

Con el uso y aplicación del componente, el usuario no necesita tener conocimiento sobre consultas de base de datos, estas son ejecutadas de forma invisible al mismo, facilitando así el uso de la herramienta para generar registros de eventos. De esta forma se contribuye al desafío de la Usabilidad para no expertos en las herramientas de extracción de minería de procesos.

### Comunicación con la base de datos

La comunicación con la base de datos se realiza a través de la biblioteca PostgreSQL JDBC Driver postgresql-9.4.1209, que permite realizar consultas y extraer la información de la base de datos del Xavia HIS mediante las clases: *Connection*, *Statement*, *ResultSet*, *ResultSetMetaData*. Para realizar la conexión se hace necesario configurar los siguientes parámetros: dirección del servidor de bases de datos, puerto del servidor, nombre de la base de datos, usuario, contraseña.

```
Class.forName("org.postgresql.Driver");  
Connection connection = DriverManager.getConnection(  
"jdbc:postgresql://localhost:5432/tesis", "postgres", "postgres");  
  
Statement stat = con.createStatement();  
ResultSet rs = stat.executeQuery(query);  
ResultSetMetaData meta = rs.getMetaData();
```

**Figura 6.** Fragmento de código de conexión con la base de datos. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

#### 2.6.1 Características del registro de eventos

El registro de eventos generado, es el resultado de un proceso de extracción a partir de la información almacenada por el sistema Xavia HIS. Dicho sistema se caracteriza por almacenar de manera automatizada, sistemática y confiable los eventos en la base de datos. Según los niveles de madurez de los registros de eventos definidos por (IEEE Task Force on Mining Process, 2011), descritos en el capítulo 1, se puede determinar que los registros de eventos obtenidos por la herramienta alcanzan el nivel 4 de madurez.

Los registros de eventos se componen de trazas y estas a su vez de eventos, cada uno de ellos está conformados por atributos específicos. A continuación, se muestran los atributos que conforman los registros de eventos generados por la herramienta.

Atributos generales del registro de eventos:

- *concept:name*, nombre del proceso analizado en el registro de eventos
- *description*, descripción de las actividades del proceso
- *lifecycle:model*, define el ciclo de vida de las actividades del proceso

Atributos de las trazas:

- *concept:name*, identificador de las trazas
- *creator*, hace referencia a la entidad creadora de las trazas

Atributos de los eventos:

- *org:resource*, usuario o recurso asociado al evento
- *time:timestamp*, fecha y hora de la ejecución de los eventos.
- *concept:name*, nombre del evento
- *lifecycle:transition*, estado en que se encuentra el proceso luego de la ejecución del evento

## 2.7 Visualización de la herramienta

El resultado final de la herramienta está compuesto por un grupo de interfaces que van desde las vistas de los componentes incorporar, generar y exportar registros de eventos, hasta las generadas por las distintas técnicas de minería de procesos. Dichas técnicas requieren como punto de partida un registro de eventos, por lo que la primera fase de la aplicación es incorporar un registro de eventos.

Para incorporar los registros de eventos se cuenta con dos componentes fundamentales: Cargar registro de eventos y Generar registro de eventos. Además, se cuenta con la funcionalidad de exportar registro de eventos.

A continuación, se explican cada una de las vistas que componen la herramienta.

### Cargar registro de eventos

La vista cargar el registro de eventos es una de las primeras acciones que se pueden llevar a cabo en la herramienta. Esta carga el archivo seleccionado, lo que constituye el punto de partida para la aplicación de las técnicas de minería de procesos.

### Generar registro de eventos

Esta vista permite al usuario introducir los campos necesarios para generar el registro de eventos, los mismos son: nombre del proceso, fecha de inicio y fecha de finalización. El usuario puede seleccionar mediante un *ComboBox*, el nombre del proceso del sistema Xavia HIS y mediante dos campos formateados las fechas de inicio y fin de la búsqueda. Un *CheckBox* brinda la posibilidad de realizar la búsqueda sin límites de fecha.



Figura 7. Vista Generar registro de eventos. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

### Exportar registro de eventos

El componente para exportar registro de eventos ofrece la oportunidad de guardar en una ubicación específica el registro de eventos que se utiliza en la aplicación.

### Técnica Replay P/C

La vista de esta técnica muestra un gráfico obtenido en tres tiempos diferentes (tiempo de procesamiento, tiempo de espera, tiempo de estadía) y una tabla con los tiempos asociados a la actividad seleccionada. 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.

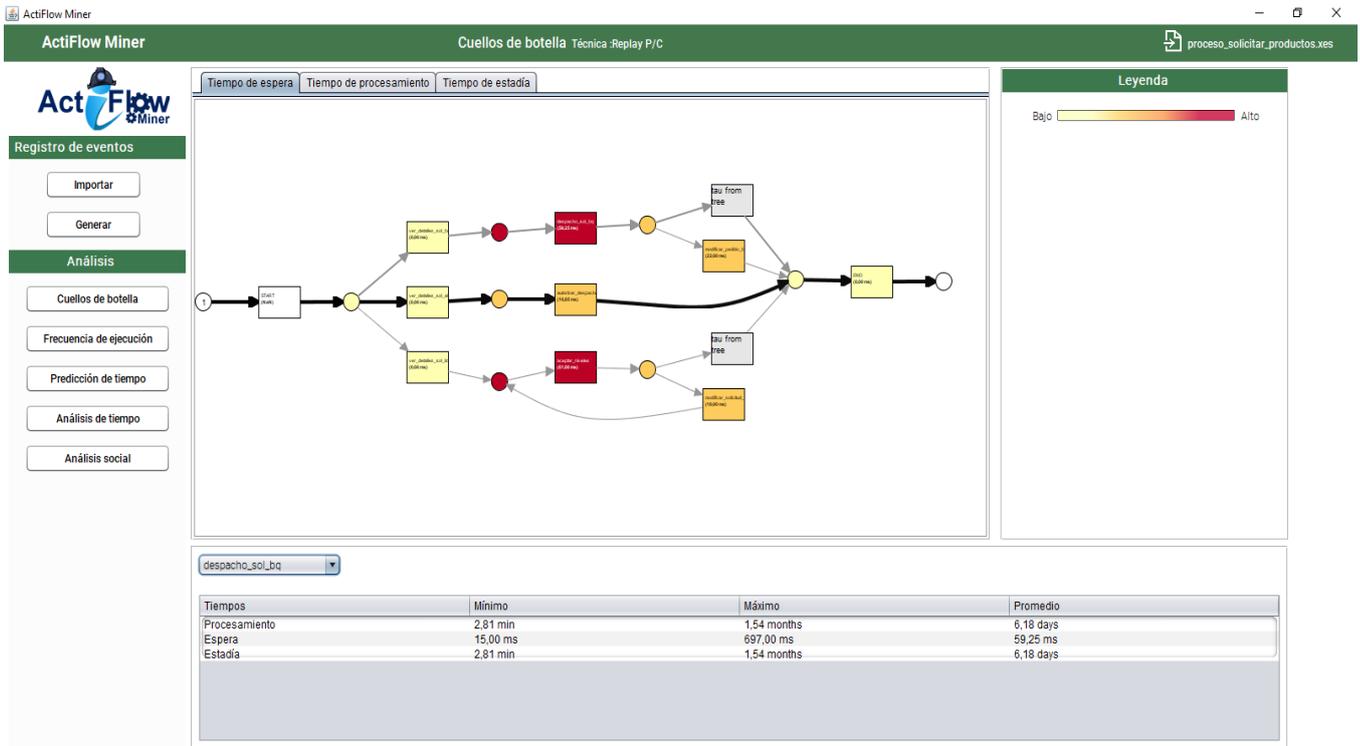


Figura 8. Vista Técnica Replay P/C. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

### Técnica Fuzzy Miner

La vista muestra el modelo generado por la técnica Fuzzy Miner, que contiene los caminos o actividades más repetidas (secuencias principales) en el flujo de información del registro de eventos. En la parte superior derecha se encuentran los filtros cuyos valores son ajustables para que el usuario adapte el modelo a sus necesidades y lo que realmente le interesa que sea mostrado en el momento que lo requiera; seguido de la leyenda que provee una explicación de los elementos que intervienen en el mismo, además de un botón que permite exportar el modelo generado.

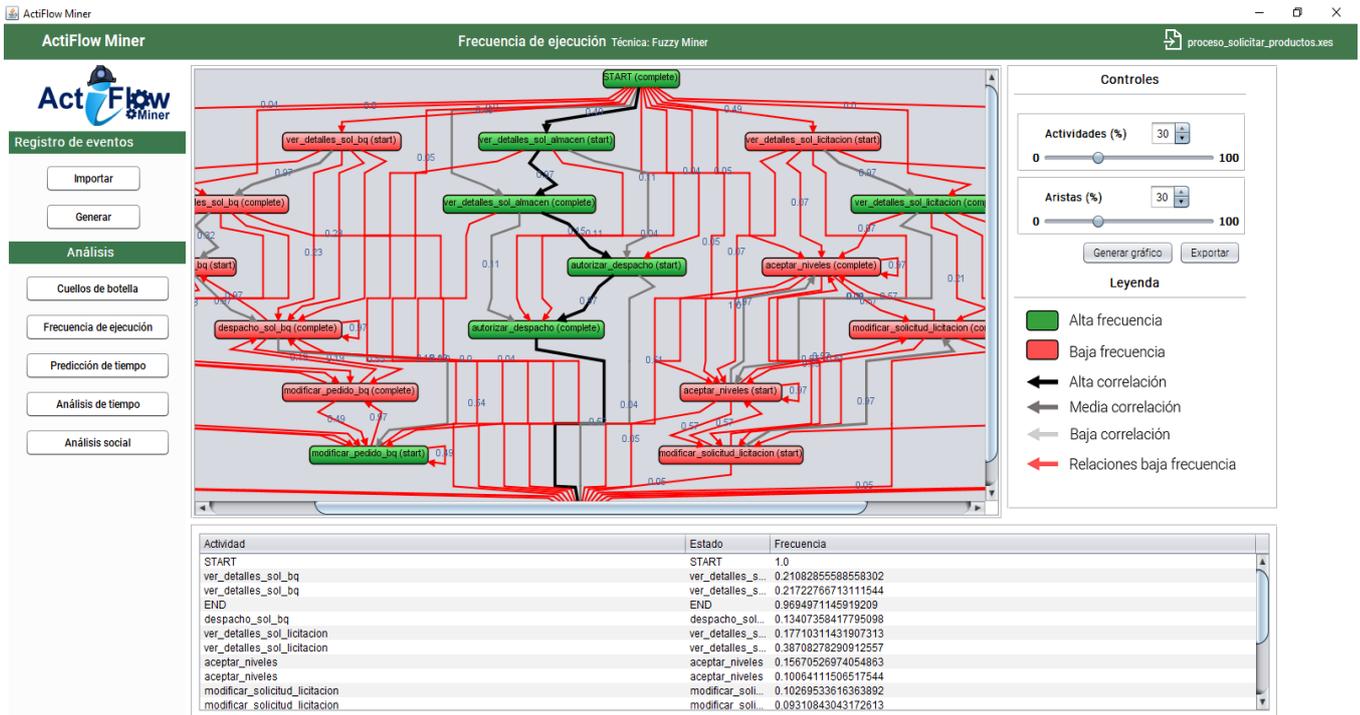
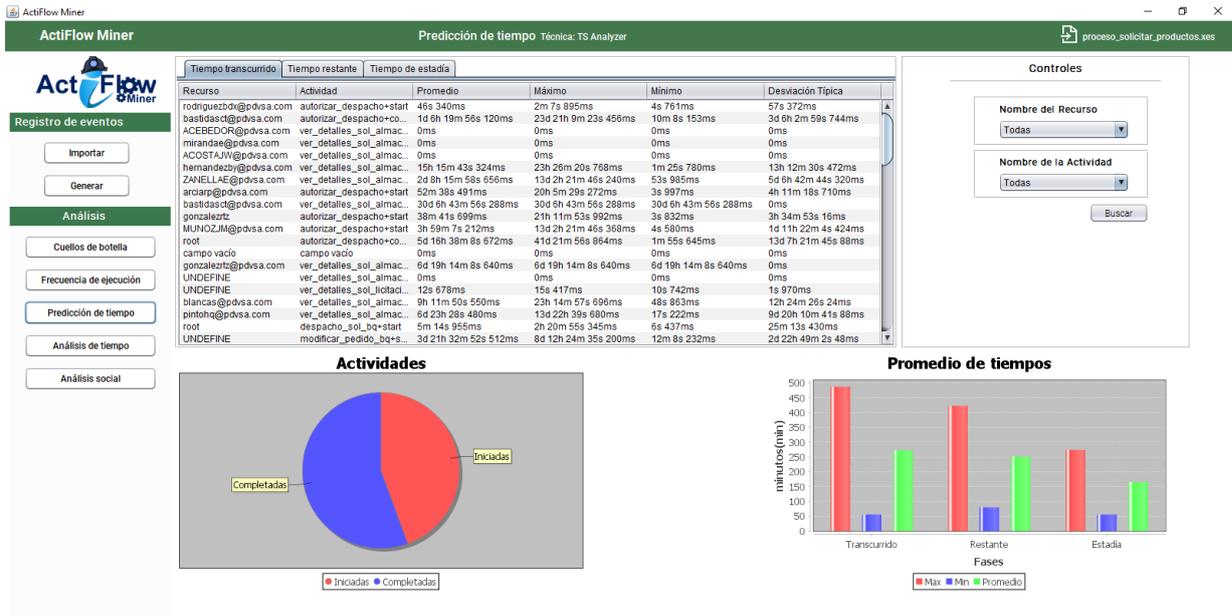


Figura 9. Vista Técnica Fuzzy Miner. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

### Técnica TS Analyzer

La vista muestra en la parte inferior una tabla, con la información necesaria para realizar análisis de predicción basada en tiempo de ejecución de las actividades del proceso en cuestión. De la información que expone la tabla, se puede conocer el usuario que ejecutó la actividad y el nombre de la misma, así como el tiempo mínimo y tiempo máximo que puede demorar la actividad. Además, se cuenta con el tiempo promedio y una desviación típica con respecto al tiempo promedio. En la parte derecha de la vista se pueden seleccionar los recursos y las actividades que permiten realizar una búsqueda específica.



**Figura 10.** Vista técnica TS Analyzer. Fuente: herramienta ActiFlow Miner.

### Técnica Dotted Chart

La vista muestra un gráfico de puntos que representa los eventos en el registro, basado en las dimensiones tiempo y número de traza. El gráfico tiene la funcionalidad conectar puntos donde el usuario puede decidir si mostrar o no los eventos en forma de flujo, además es posible realizar zoom, ya sea mediante el *scroll* del mouse o mediante la selección de un área determinada del gráfico, posibilitando la disgregación de los eventos con el objetivo de lograr una mayor comprensión del mismo.

En la mitad derecha se muestra un gráfico de barras, basado en las dimensiones días de mes y usuario; donde por cada usuario se representan los recursos asociados al mismo y su ejecución respecto a los días del mes. Este cuenta con una leyenda donde se explican los colores asociados a cada recurso.

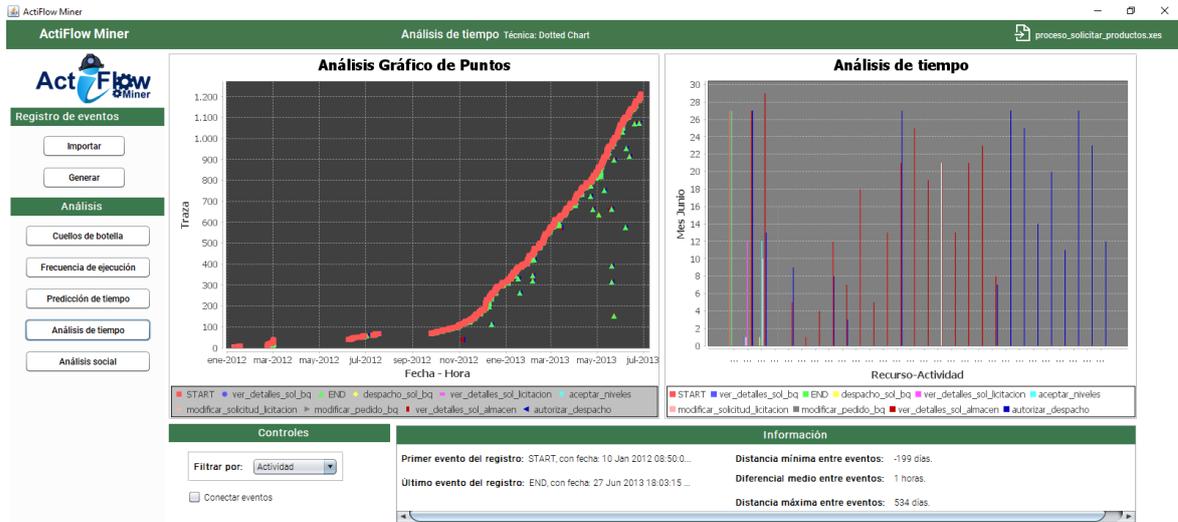


Figura 11. Vista Técnica Dotted Chart. Fuente: herramienta ActiFlow Miner.

### Técnica Social Network

La vista permite al usuario la configuración de varios parámetros de visualización del sociograma y de la matriz social, la configuración de las métricas a aplicar en la obtención del sociograma y la matriz social, y la configuración de varios parámetros relacionados con los datos a verificar dado el registro de eventos. Esta técnica permite mostrar las relaciones de los usuarios entre sí, facilitando la planificación de actividades y la evaluación de los procesos hospitalarios.

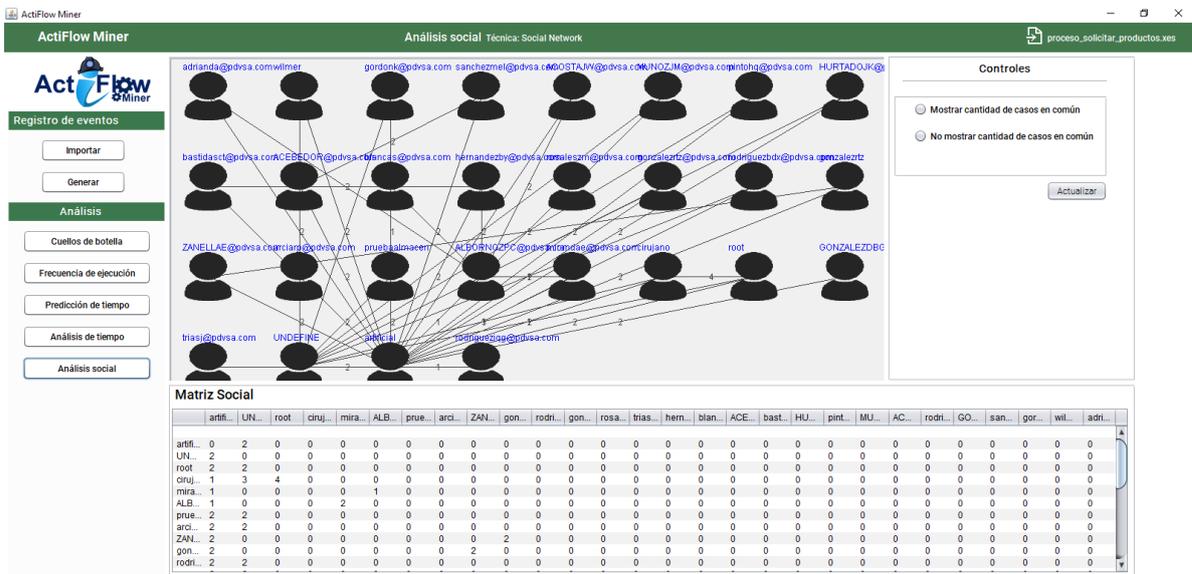


Figura 12. Técnica Social Network. Fuente: herramienta ActiFlow Miner.

Conclusiones parciales:

- Se personalizaron de manera correcta las técnicas de minería de procesos Replay P/C, Fuzzy Miner, TS Analyzer, Dotted Chart y Social Network, para facilitar su utilización por parte de usuarios no expertos.
- En el desarrollo de la herramienta para la evaluación de procesos hospitalarios en el sistema Xavia HIS fueron configuradas las métricas y parámetros de las técnicas de minería de proceso personalizadas.
- La herramienta desarrollada para la evaluación de procesos hospitalarios en el sistema Xavia HIS, permite analizar exitosamente los procesos y actividades de dicho sistema.
- El componente de extracción y transformación de trazas extrae correctamente la información de la base de datos del sistema Xavia HIS y genera registros de eventos de buena calidad.
- Se importó registros de eventos generados por otros sistemas, así como su posterior tratamiento por las técnicas de minería de procesos personalizadas.

## Capítulo 3. Validación de la propuesta de solución

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 herramienta desarrollada, con este objetivo se realiza un caso de estudio para comprobar la efectividad de la propuesta de solución. Para valorar la factibilidad computacional de la herramienta 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 del caso de estudio

Para validar los resultados de las técnicas que integran la herramienta, se aplicó un caso de estudio. Su objetivo es comparar los resultados obtenidos de aplicar las técnicas en la herramienta ProM en su versión 6.4, con los resultados de aplicar las técnicas ya integradas al ActiFlow Miner. Para la validación se empleó un registro de eventos generado por el componente de extracción y transformación de trazas, a partir del proceso *Solicitar producto* del sistema Xavia HIS, entre las fechas 1/01/2012 1/01/2015. Este registro de eventos posee 1213 trazas y 7082 eventos.

A continuación, se presentan vistas de modelos de procesos desde la herramienta desarrollada y el marco de trabajo ProM, con el objetivo de mostrar las contribuciones realizadas a la visualización de los modelos, en aras de facilitar su uso para usuarios no expertos.

#### 3.1.1 *Replay P/C*

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

#### **Procedimiento para aplicar la técnica *Replay P/C* desde ProM.**

1. Obtener el registro de eventos a partir de la herramienta XESame, Eventifier o un equivalente.
2. Importar registro de eventos.
3. Obtener la *red de Petri* a partir del uso de la técnica *Mine Petri Net with Inductive Miner*.
4. Aplicación de la técnica "*Replay P/C*" para la detección de cuellos de botella.
  - 4.1. Configuración de las métricas.
5. Visualización de los resultados.

Al utilizar 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

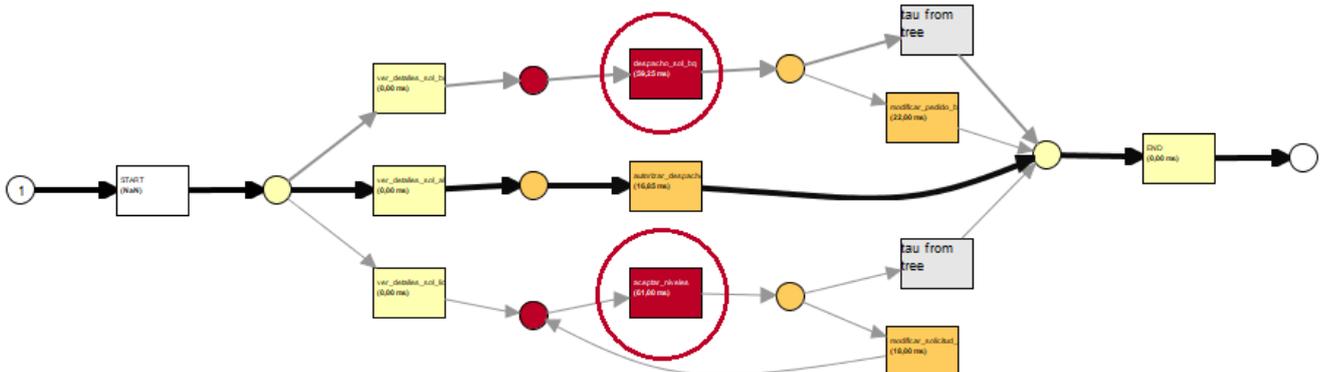
la configuración de sus métricas. Como resultado, esta técnica genera una red de Petri (ver Figura 14), la cual representa el flujo de actividades.

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



**Figura 13.** Configuración de las métricas para aplicar la técnica “Replay P/C” desde ProM. Fuente: herramienta PROM

Luego de establecer todas las configuraciones necesarias, se genera un modelo que permite visualizar los cuellos de botellas en el proceso seleccionado ver Figura 14. Los cuellos de botella se presentan en las actividades que presentan color rojo y en la figura se encuentran señalados con un círculo del mismo color.



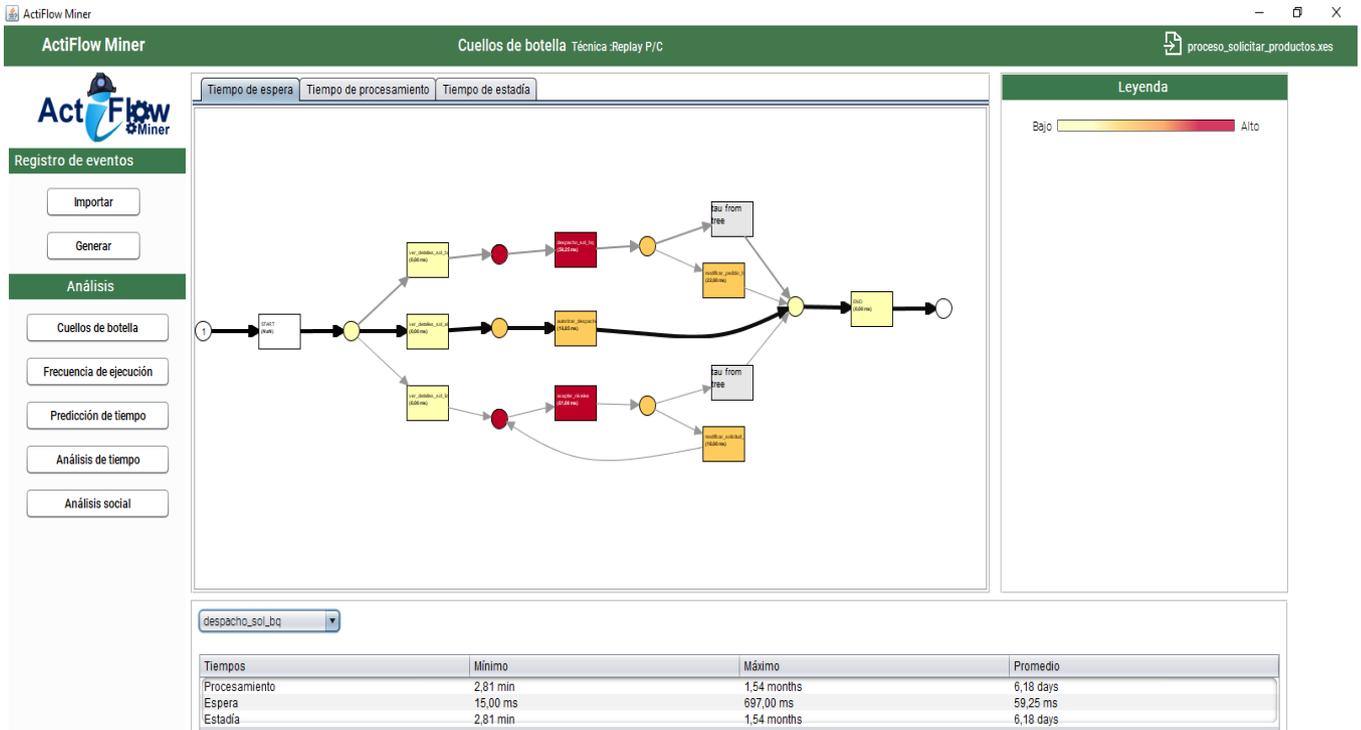
**Figura 14.** Visualización de un cuello de botella en el proceso Solicitar producto. Fuente: herramienta ActiFlow Miner.

### Procedimiento para aplicar la técnica “Replay P/C” desde la herramienta ActiFlow Miner.

Pasos para aplicar la técnica Replay P/C desde ActiFlow Miner.

1. Generar el registro de eventos con el componente de extracción y transformación de trazas.

2. Seleccionar la técnica a aplicar
3. Visualización de los resultados.



**Figura 15.** Vista generada por la técnica *Replay P/C* incorporada a la herramienta *ActiFlow Miner*. Fuente: herramienta *ActiFlow Miner*

Para utilizar la técnica solo se necesita un registro de eventos, para generar la visualización y construir la tabla de indicadores. La *red de Petri* obtenida puede construirse de acuerdo a tres perspectivas diferentes, tiempo de estadía, tiempo de espera o tiempo de procesamiento.

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, lo que la hace más sencilla y entendible.

### 3.1.2 Fuzzy Miner

El objetivo es que las actividades de baja frecuencia y alta correlación que son agrupadas en un *clúster* por el *plugin Fuzzy Miner* de ProM como las de baja frecuencia y baja correlación que se eliminan del modelo, sean destacadas en color rojo con la personalización de *Fuzzy Miner* y así probar la correcta interpretación de ruido de la personalización. El modelo obtenido con ProM se presenta en la Figura 16.

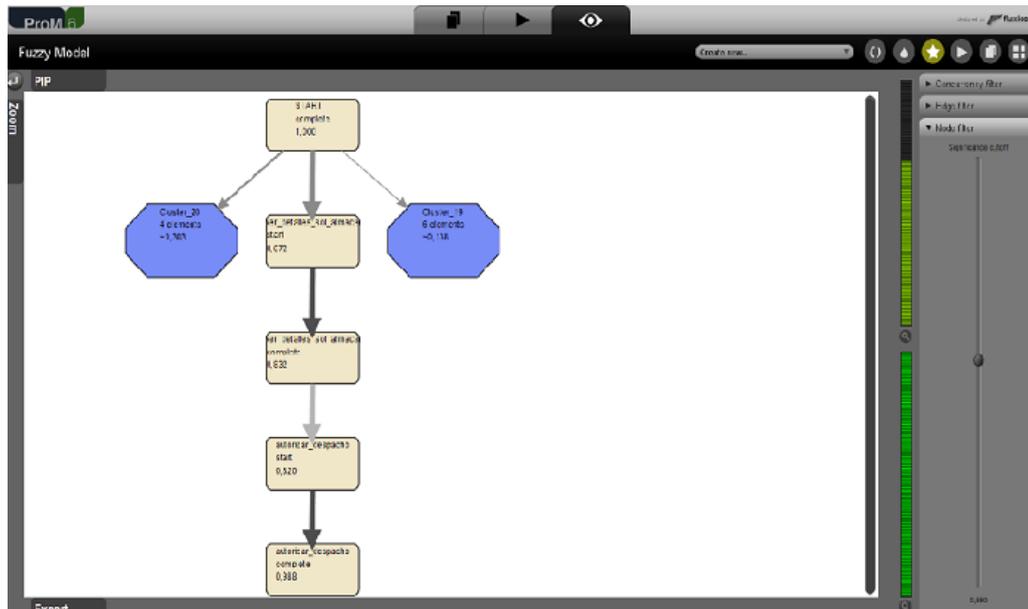


Figura 16. Interfaz de la herramienta ProM del proceso “Solicitar productos”. Fuente: herramienta PROM

En la Figura 17 se muestra el modelo generado por la personalización del *plugin Fuzzy Miner* desde la herramienta ActiFlow Miner para el mismo valor de frecuencia (30 por ciento) con que fue generado el modelo desde el ProM y se destacan en color rojo las doce actividades que se agrupan en los *clústeres*, en este caso no se descartan actividades por lo que se puede afirmar que la personalización propuesta identificó correctamente el ruido.

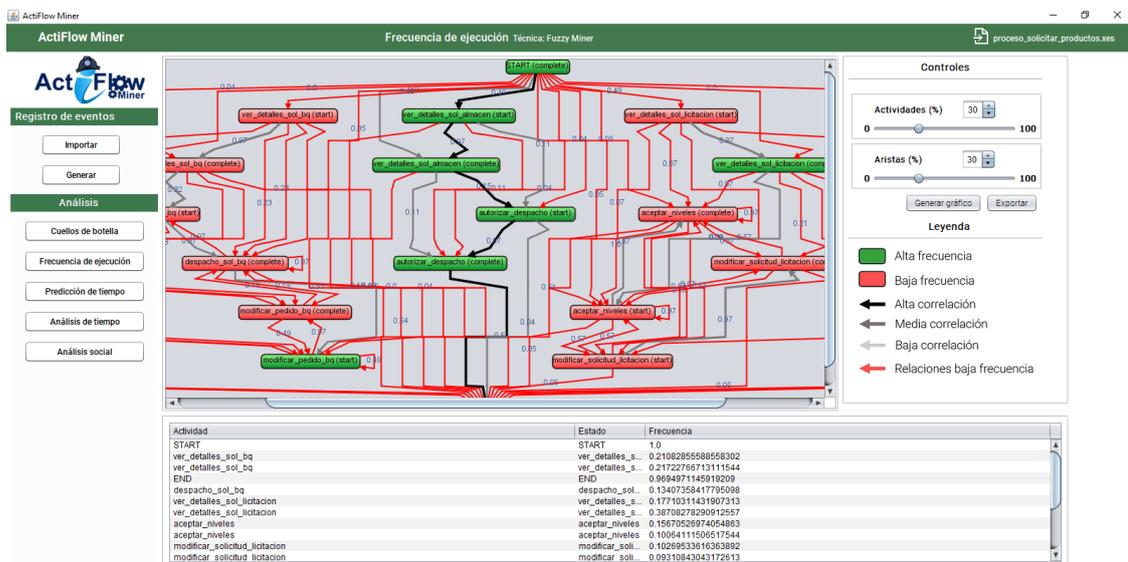


Figura 17. Interfaz del proceso “Solicitar productos” con el plugin Fuzzy Miner desde ActiFlow Miner. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

Se puede observar luego de utilizar ambas herramientas que los resultados son similares, sin embargo, la herramienta ActiFlow Miner brinda la posibilidad a los usuarios no expertos de observar las actividades que están ocurriendo en baja frecuencia y baja correlación. El modelo generado por ProM requiere un poco más de conocimiento, al mostrar un modelo más abstracto y sin una leyenda que directamente ayude a usuario a entenderlo.

### 3.1.3 TS Analyzer

En la Figura 18 se muestra la salida de la técnica TSAnalyzer en la herramienta ProM, esta muestra diferentes tiempos. Entre ellos el tiempo restante (remaining), el cual es resaltado con un recuadro rojo para hacer más fácil la comparación de los resultados entre ambas herramientas.

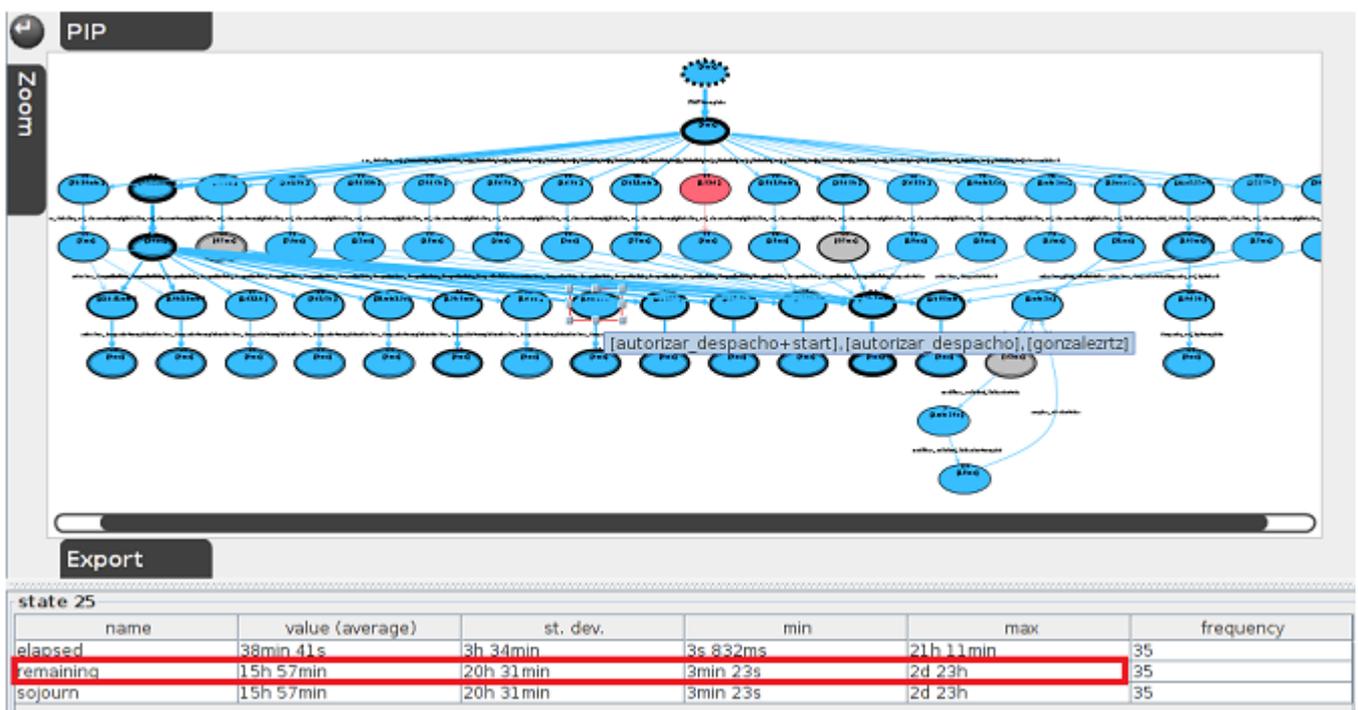


Figura 18. Vista de la técnica TS Analyzer en la herramienta ProM del proceso Solicitar Producto. Fuente: herramienta PROM

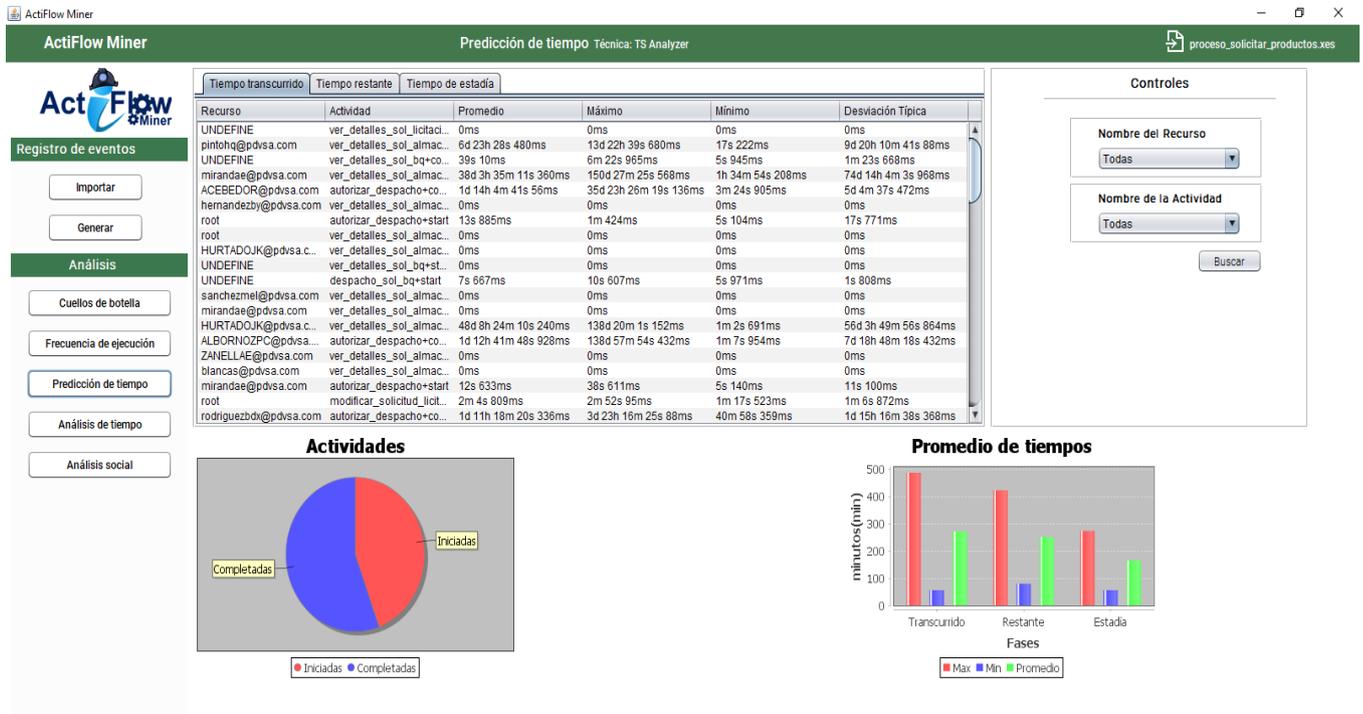


Figura 19. Vista de la tabla que muestra la técnica personalizada en el ActiFlow Miner. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

Como se puede apreciar en esta vista ampliada, al comparar los resultados, estos concuerdan. Además, en la vista integrada al sistema se muestra un mayor nivel de especificidad en cuanto a los tiempos restantes de ejecución obtenidos.

### 3.1.4 Dotted Chart

Para ejecutar el pre-experimento se confeccionó el siguiente procedimiento donde se comparan las acciones necesarias para alcanzar resultados utilizando las herramientas PROM y ActiFlow Miner.

#### Procedimientos para aplicar la técnica Dotted Chart Analysis desde ProM.

1. Obtener el registro de eventos a partir de la herramienta XESame, Eventifier o un equivalente.
2. Importar registro de eventos.
3. Seleccionar la opción "Vistas" (Views), representada por el ícono con forma de ojo.
4. Seleccionar el visualizador Dotted Chart a partir del menú representado en el combobox "Create new"
5. Visualización de los resultados.

5.1. Configurar las opciones de visualización de la técnica.

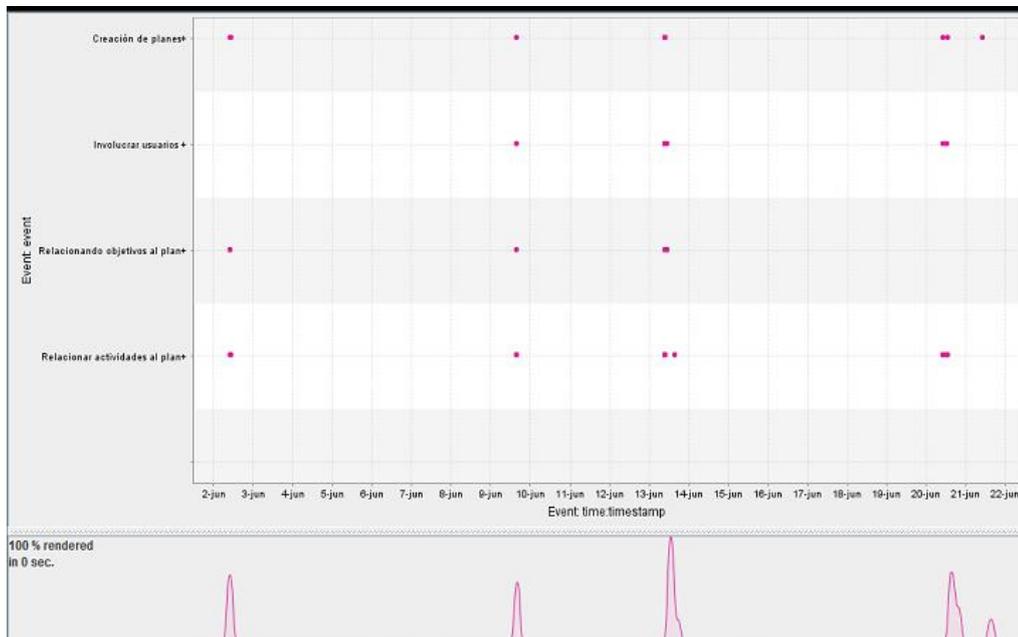


Figura 20. Modelo generado por la técnica Dotted Chart Analysis desde la herramienta ProM. Fuente: herramienta PROM

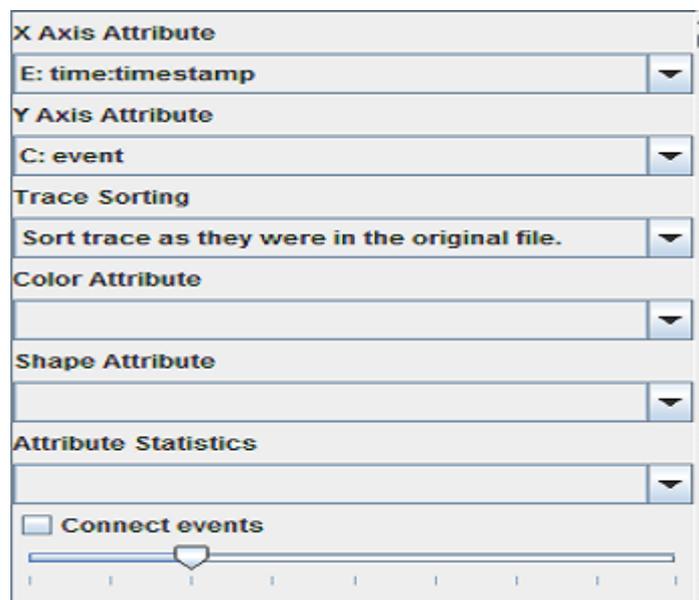


Figura 21. Configuraciones de visualización de la técnica Dotted Chart Analysis desde la herramienta ProM. Fuente: herramienta PROM

**Pasos para aplicar la técnica Dotted Chart Analysis desde ActiFlow Miner.**

1. Generar el registro de eventos con el componente de extracción y transformación de trazas.

2. Seleccionar la técnica a aplicar
3. Visualización de los resultados.



**Figura 22.** Modelo generado por la técnica Dotted Chart Analysis en la herramienta ActiFlow Miner. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

En el caso de estudio analizado, las dos aplicaciones, desde sistemas diferentes obtuvieron los mismos resultados, mostrando el gráfico de puntos para el análisis de tiempo de los procesos del Xavia HIS. Desde el marco de trabajo ProM es necesario realizar una serie de pasos y configuraciones adicionales, las cuales no son necesarias al utilizar la técnica desde ActiFlow Miner, lo que contribuye significativamente a la comprensión por parte de los usuarios no expertos en el área de la MP.

### 3.1.5 Social Network

#### Pasos para aplicar la técnica Social Network desde ProM.

1. Obtener el registro de eventos a partir de la herramienta XESame, Eventifier o un equivalente.
2. Importar registro de eventos.
3. Seleccionar la técnica a emplear.
4. Configurar opciones de visualización

5. Visualización de los resultados.

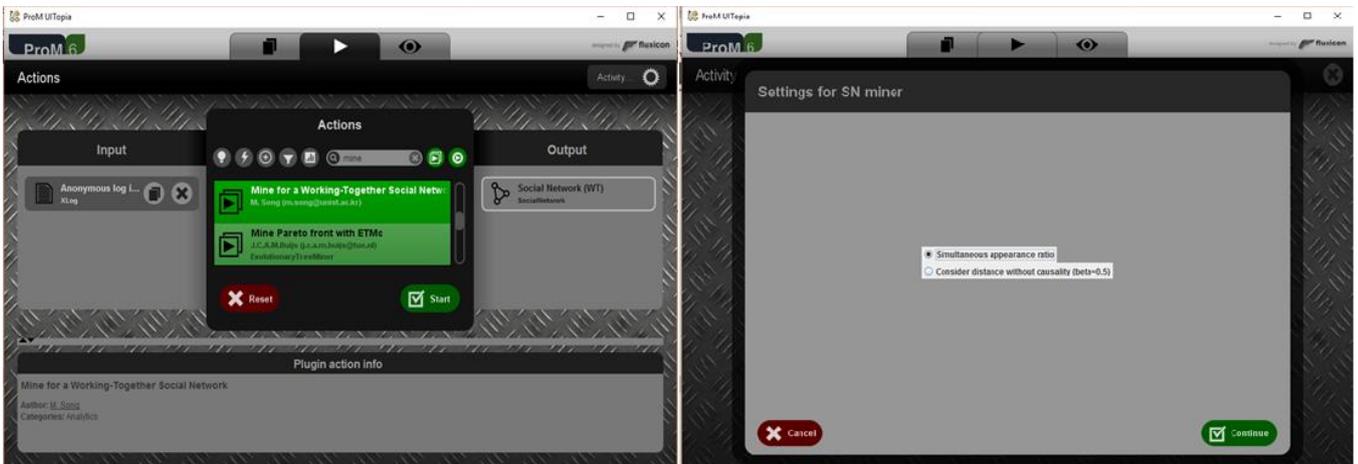


Figura 23. Configuraciones de visualización en ProM. Fuente: herramienta PROM

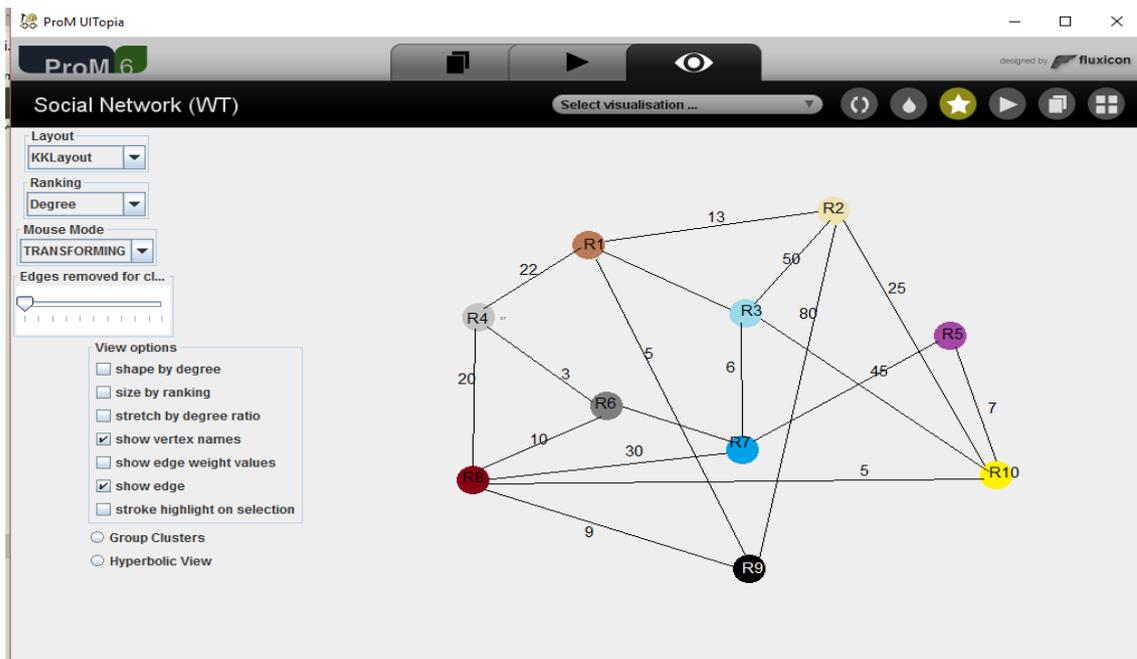


Figura 24. Modelo generado por la técnica Social Network en ProM. Fuente: herramienta PROM

**Pasos para aplicar la técnica Social Network desde ActiFlow Miner.**

1. Generar el registro de eventos con el componente de extracción y transformación de trazas.
2. Seleccionar la técnica a aplicar
3. Visualización de los resultados.

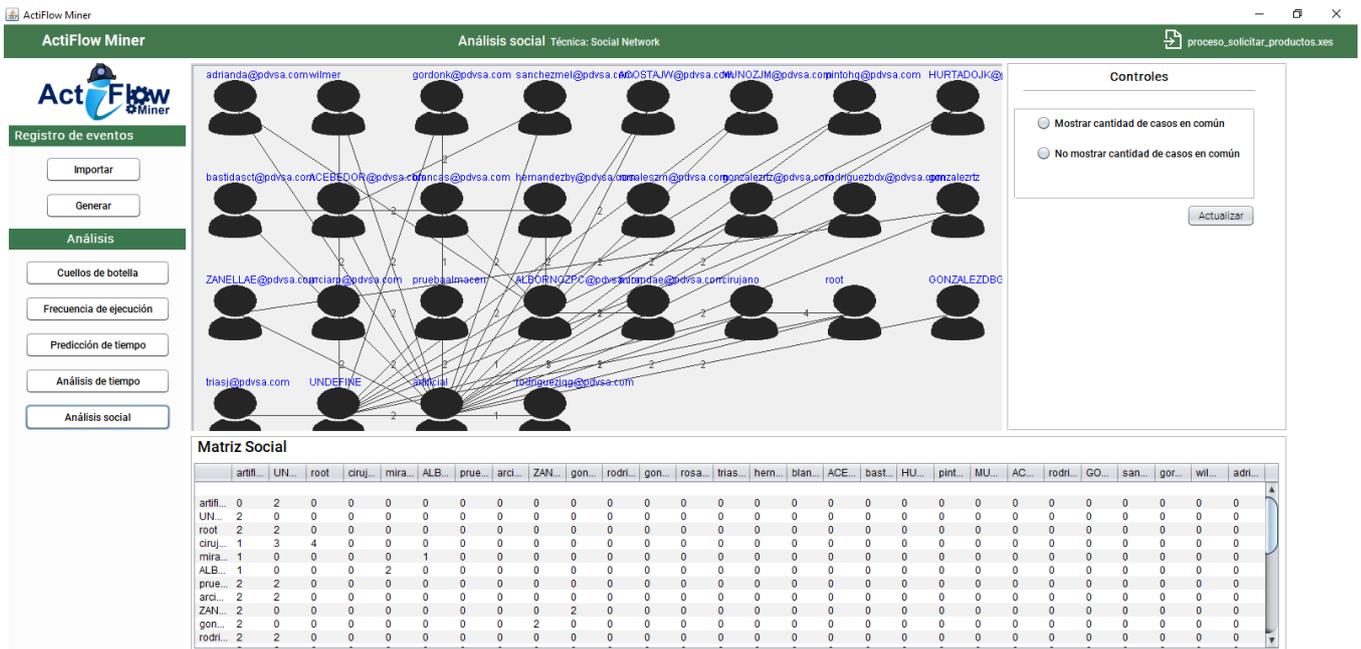


Figura 25. Modelo generado por la técnica Social Network desde la herramienta ActiFlow Miner. Fuente: herramienta ActiFlow Miner

En el caso de estudio analizado, las dos aplicaciones obtuvieron resultados similares, generando un sociograma que representa la forma en que interactúan los recursos de un proceso.

### 3.2 Pruebas de rendimiento

Las pruebas de rendimiento pueden servir para diferentes propósitos

- Demostrar que el sistema cumple los criterios de rendimiento.
- Comparar dos sistemas para encontrar cuál de ellos funciona mejor.
- Medir que partes del sistema o de carga de trabajo provocan que el conjunto rinda mal.

Para su diagnóstico, los ingenieros de software utilizan herramientas como pueden ser monitorizaciones que midan qué partes de un dispositivo o software contribuyen más al mal rendimiento o para establecer niveles (y umbrales) del mismo que mantenga un tiempo de respuesta aceptable (Madeja, 2015).

Para conocer los tiempos de ejecución de la obtención de la visualización realizado en el entorno de la herramienta ActiFlow Miner se decidió realizar una prueba de rendimiento. Para el entorno de prueba se tiene una computadora con un procesador Intel(R) Core(TM) i5-4200M CPU @ 2.50 GHz de velocidad y 12GB de memoria RAM. La computadora tiene instalado el sistema operativo Windows 10. 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.

La herramienta desarrollada está destinada a ser utilizada por estadísticos y administrativos de las instituciones hospitalarias, estos usuarios representan un número relativamente pequeño, por lo que el uso simultáneo es poco probable. Debido a esto se decide realizar una prueba de rendimiento donde interactúa con la herramienta un solo usuario. Para realizar la prueba de rendimiento se utilizaron seis registros de eventos generados a partir de los procesos solicitar productos y transferencia hospitalaria del sistema Xavia HIS, divididos en tres intervalos de tiempo cada uno, además de un registro de eventos externos al sistema.

**Tabla 4.** Tiempo de ejecución del proceso de extraer registro de eventos. Fuente: elaboración propia.

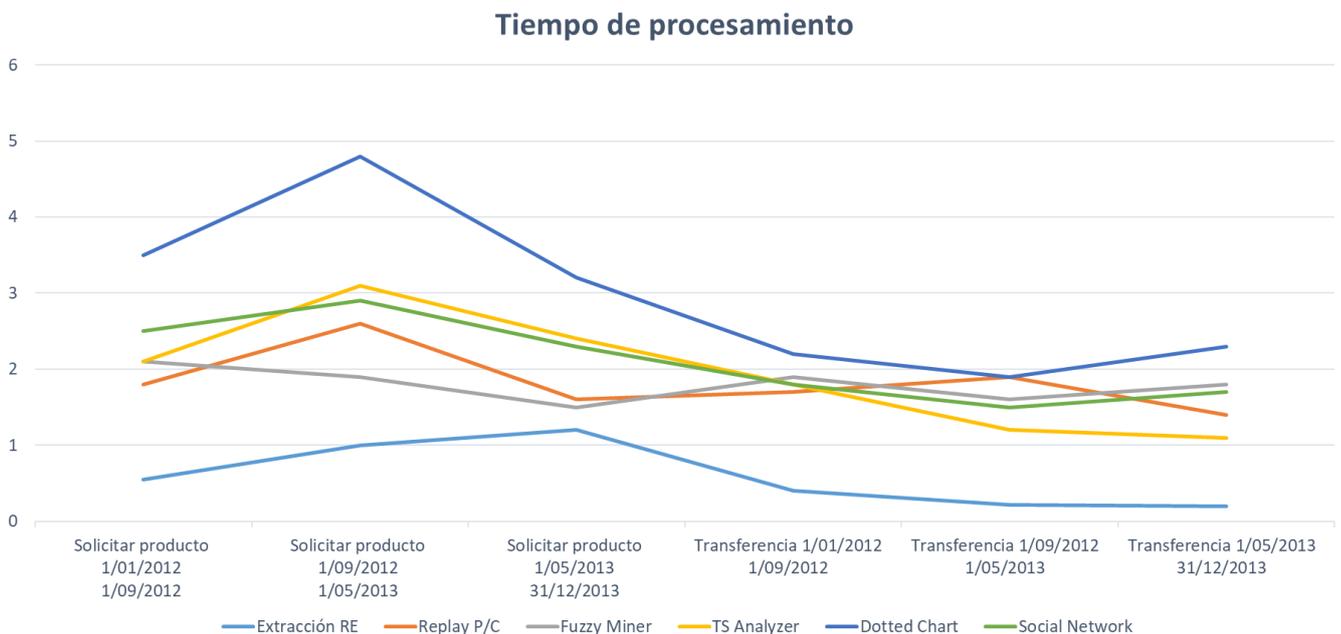
Procesos	Datos	1/01/2012	1/09/2012	1/05/2013
		1/09/2012	1/05/2013	31/12/2013
Solicitar productos	Trazas	41	251	732
	Eventos	254	2098	4372
	Tiempo	555ms	1s	1.2s
Transferencia hospitalaria	Trazas	56	21	12
	Eventos	224	84	37
	Tiempo	400ms	223ms	200ms

**Tabla 5.** Tiempo de ejecución de las técnicas de minería de procesos integradas. Fuente: elaboración propia.

Procesos	Datos	Replay P/C	Fuzzy Miner	TS Analyzer	Dotted Chart	Social Network
Solicitar productos	1/01/2012	1.8s	2.1s	2.1s	3.5s	2.5s
	1/09/2012					
	1/09/2012	2.6s	1.7s	3.1s	4.8s	2.9s
	1/05/2013					
1/05/2013	1.6s	1.5s	2.4s	3.2s	2.3s	
31/12/2013						
Transferencia hospitalaria	1/01/2012	1.7s	1.9s	1.8s	2.2s	1.8s
	1/09/2012					
	1/09/2012	1.9s	1.6s	1.2s	1.9s	1.5s

	1/05/2013					
	1/05/2013 31/12/2013	1.4s	1.8s	1.1s	2.3s	1.7s

En las tablas se muestran los resultados de rendimiento de las técnicas de minería de procesos obtenidos a partir de los dos procesos seleccionados. El tiempo de ejecución se muestra en milisegundos y segundos respectivamente, además permite conocer la cantidad de trazas y eventos para cada proceso en cada uno de los intervalos de tiempo seleccionados. A continuación, un resumen de los tiempos de ejecución de las técnicas utilizadas, permite observar el pequeño costo temporal y computacional de la herramienta.



**Figura 26.** Diagrama de tiempos de respuesta de las técnicas personalizadas en la herramienta dados en segundos. Fuente: elaboración propia.

Todos los tiempos empleados por la herramienta para mostrar los resultados están por debajo de los 5 segundos, además el usuario solo tiene que configurar la ubicación del servidor de bases de datos y seleccionar el proceso e intervalo de tiempo a analizar; lo que puede constituir una mejora en el entendimiento y comprensión de los usuarios no expertos en minería de procesos.

### 3.3 Aplicación de la técnica ladov para medir satisfacción de potenciales usuarios

Para realizar el análisis de satisfacción grupal, el autor de la presente investigación empleó la técnica de ladov, esta constituye una vía para el análisis del grado de satisfacción. Se creó con el fin de establecer

un nivel de satisfacción por la profesión de carreras pedagógicas. Varios autores la han modificado y aplicado para valorar la satisfacción en múltiples campos y como parte de diagnósticos y validaciones en diferentes investigaciones. La técnica se basa en la aplicación de una encuesta con una serie de preguntas cerradas y tres preguntas abiertas que permiten obtener una opinión más abierta de la propuesta de solución por parte del encuestado (Fernández De Castro y López Padrón, 2014; Martínez y González, 2017). Esta se empleó para medir la satisfacción de los usuarios en el sector de la salud, con relación a la integración de las técnicas Replay P/C, Fuzzy Miner, TS Analyzer, Dotted Chart y Social Network para realizar análisis del comportamiento de los procesos hospitalarios, en el sistema Xavia HIS. La relación entre las preguntas cerradas se establece a través del denominado Cuadro Lógico de ladov, el cual posibilita determinar posteriormente el nivel de satisfacción del usuario y del grupo.

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           |

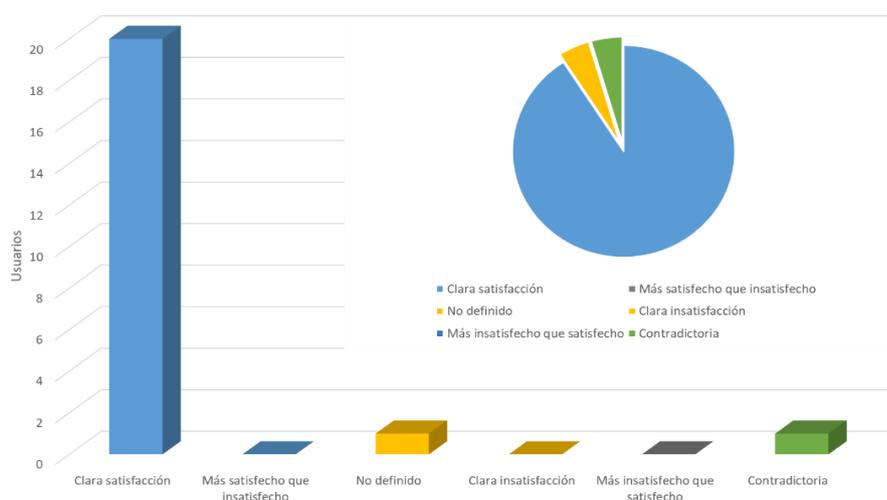
Luego es posible calcular el ISG a partir de la siguiente fórmula:

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

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

Se aplicó la técnica ladov para determinar el Índice de Satisfacción Grupal (ISG), relacionado con el uso de la herramienta para la evaluación de procesos hospitalarios en el Xavia HIS. Para ello se aplicó una encuesta a una muestra representativa de veinticuatro usuarios potenciales, seleccionados de una población de treinta personas mediante la técnica no probabilística muestreo intencional (León y Coello González, 2011). La unidad de estudio está integrada por un conjunto de especialistas del grupo de investigación de minería de procesos de la Universidad de las Ciencias Informáticas, además de un administrador y un estadístico del Hospital Provincial de Matanzas. Los veinticuatro potenciales usuarios encuestados se caracterizan por tener una media de cinco años de experiencia en el tratamiento con procesos hospitalarios, siendo especialistas informáticos o médicos, con conocimientos de las técnicas de minería de procesos.

A partir de los resultados de la encuesta realizada (ver Figura 27) se obtuvo un ISG=0.83, el cual se encuentra en el intervalo de satisfacción, por lo que se puede concluir que existe un alto grado de satisfacción con la herramienta ActiFlow Miner.



**Figura 27.** Resultados de la técnica de ladov tras aplicar la encuesta. Fuente: elaboración propia.

Las preguntas abiertas incluidas en la encuesta permitieron obtener información acerca de la opinión de los encuestados con respecto al funcionamiento de la herramienta y propiciaron la realización de algunas mejoras en la misma. Los principales resultados observados fueron:

- El ahorro en tiempo constituye la motivación principal de catorce de los veinticuatro usuarios encuestados, para la utilización de una herramienta en el análisis de los procesos de negocio. Este número constituye el 58,3%.
- Para el 75% de los usuarios la herramienta mejora la usabilidad y comprensión con respecto a otras herramientas.

A partir de los resultados obtenidos de la encuesta el desarrollo de la herramienta se enfocó en optimizar los algoritmos para obtener un mejor rendimiento y satisfacer la principal motivación de los usuarios encuestados. Para mejorar la usabilidad y entendimiento de la herramienta se agregaron componentes visuales que explican la utilidad y resultados de cada una de las técnicas y análisis integrados en la herramienta ActiFlow Miner.

Conclusiones parciales:

- La herramienta desarrollada 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 realizado por la herramienta ActiFlow Miner presenta una baja complejidad computacional y permite el ahorro de recursos y tiempo.
- Las validaciones realizadas mediante la técnica ladov permiten determinar que la herramienta mejora la usabilidad y entendimiento de usuarios no expertos en minería de procesos.
- Los potenciales usuarios de la herramienta desarrollada mostraron su satisfacción con la propuesta de solución al obtenerse un alto índice de satisfacción grupal.

## Conclusiones

Con la realización de la presente investigación se han cumplido los objetivos propuestos, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- La elaboración del marco teórico-metodológico de la investigación, así como los principales problemas identificados en la bibliografía, permitieron seleccionar la minería de procesos y las técnicas utilizadas para la detección de variabilidad en los procesos hospitalarios.
- Las técnicas de minería de procesos integradas al Xavia HIS brindan distintos tipos de análisis que posibilitan la detección de variabilidad en los procesos hospitalarios y la literatura existente muestra que su aplicación en el sector hospitalario ha resultado efectiva.
- La herramienta ActiFlow Miner integra las técnicas de minería de procesos desarrolladas en el Xavia HIS, en un ambiente más intuitivo donde se simplifican los pasos y las configuraciones necesarias para obtener los modelos a partir de dichas técnicas.
- El componente desarrollado para la comunicación con bases de datos permite la extracción remota de registros de eventos.
- El componente desarrollado para la extracción de registros de eventos permite la extracción de información de los procesos del Xavia HIS, lo cual contribuye al desafío de usabilidad de la minería de procesos en este entorno.
- El proceso de validación realizado muestra la efectividad de la solución propuesta para modelar y evaluar procesos hospitalarios al identificar desviaciones, frecuencia de ejecución, caminos más transitados, cuellos de botella, variaciones en el tiempo de ejecución e interacción social de los recursos del sistema.

## Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomienda:

- Desarrollar un componente para la modelación de procesos de negocio basada en el modelo BPMN.
- Incluir en la herramienta ActiFlow Miner las técnicas *Inductive Visual Miner* y *Variant Miner*, que permitan obtener análisis de tiempo sobre la ejecución de las actividades y variantes alternativas de los procesos desde una perspectiva temporal.
- Incorporar un componente para extracción y transformación de datos para sistemas orientados a datos.

## Referencias bibliográficas

- AALST, W. van der, 2008. *Process-Aware Information Systems: Lessons to be Learned from Process Mining*. Jhon Wiley. Hoboken, New Jersey: s.n. ISBN 13978047166306.
- AALST, W. van der, 2011. Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. *Springer-Verlag*, vol. 8, pp. 18. DOI 10.1007/978-3-642-19345-3.
- AALST, W. van der, 2012. Business Process Management: A Comprehensive Survey. , vol. 2013, pp. 37.
- AALST, W. van der, SCHONENBERG, M.H. y SONG, M., 2011. Time prediction based on process mining. *Information Systems*, vol. 36, no. 2, pp. 450-475.
- AALST, W. van der et al., 2009. ProM: The Process Mining Toolkit.
- AALST, W. van der et al., 2016. Business Process Management: International Conference. En: M. La ROSA (ed.). Rio de Janeiro, Brasil: Springer
- ADRIANSYAH, A., 2012. Replay a Log on Petri Net for Performance/Conformance Plug-in.
- ADRIANSYAH, A. y AALST, W. van der, 2012. Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, vol. 2, no. 2, pp. 182-192.
- AGARWAL, N. y SINGH, L., 2014. Process Mining Tools: A comparative Analysis and Review. *Advances in Computer Science and Information Technology*, vol. 1, no. 2, pp. 26-29.
- AGRAWAL, R., GUNOPULOS, D. y LEYMANN, F., 1998. Mining Process Models from Workflow Logs, Sixth International Conference on Extending Database Technology. En: SPRINGER (ed.), *International Conference on Extending Database Technology*. Berlin, Heidelberg: s.n., pp. 467-483.
- AUTORES, C. de, 2012. Patrones de Asignación de Responsabilidades (GRASP).
- BENGHAZI, K., BULLEJOS, J.L.G. y GARCÍA, M.N., 2011. Introducción al Modelado de Procesos de Negocio.
- BÖK, H., 2012. *The definitive guide for NetBeans platform 7*. S.I.: Apress.
- BRATOSIN, C., 2011. *Grid Architecture for Distributed Process Mining*. S.I.: Eindhoven University of Technology, the Netherlands.
- BUTTIGIEG, S.C., GAUCI, D. y DEY, P.K., 2016. Business process management in health care : current challenges and future prospects. *Innovation and Entrepreneurship in Health*, vol. 3, pp. 1-13.
- CALLEJA, M.A., 2014. Estándares de codificación. [en línea], Disponible en: <http://www.cisiad.uned.es/carmen/estilo-codificacion.pdf>.
- 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.
- CARON, F., VANTHIENEN, J., VANHAECHT, K., VAN LIMBERGEN, E., DEWEERDT, J. y BAESENS, B., 2014. Healthcare analytics: Examining the diagnosis–treatment cycle, *Procedia Technology*. *Procedia Technology*, vol. 9, pp. 996-1004.
- CASTAÑEDA, L. y VALLADARES, A., 2015. Componente para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal en el Sistema de Información Hospitalaria del Centro de Informática Médica.
- CERRITOS, A., PUERTO, F.J.F. y LARA, F.G., 2003. Sistema de información hospitalaria.
- CHO, M., SONG, M. y YOO, S., 2014. A systematic methodology for outpatient process analysis based on process mining, in: *Asia Pacific Business Process Management. Asia-Pacific Conference on Business Process Management*. S.I.: Springer, Cham, pp. 31-42.
- CLAES, J. y JANS, M., 2012. Process Mining: get your processes out of the black box. *THE INTERNAL AUDITOR COMPASS*, pp. 42-44.
- COOK, J.E. y WOLF, A.L., 1999. Software process validation: Quantitatively measuring the correspondence of a process to a model. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, vol. 8, no. 2, pp. 147-176.
- DÍAZ, F.N., 2008. Gestión de procesos de negocio BPM (Business Process Management), TICs y crecimiento empresarial. ¿ Qué es BPM y cómo se articula con el crecimiento empresarial? *Universidad & Empresa*, vol. 7, no. 15.
- ECHEVARRÍA, L.L. y BORROTO, R.C., 2017. Componente para el análisis del tiempo de los procesos del Sistema para la Planificación de Actividades.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, F.A. y LÓPEZ PADRÓN, A., 2014. Validación mediante criterio de usuarios del sistema de indicadores para prever, diseñar y medir el impacto en los proyectos de investigación del sector agropecuario. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], vol. 23, no. 3, pp. 77-82. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542014000300012&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542014000300012&script=sci_arttext).
- FERNÁNDEZ-LLATAS, C., BENEDI, J.M., GARCÍA-GÓMEZ, J.M. y TRAVER, V., 2015. Process mining for individualized behavior modeling using wireless tracking in nursing homes. *Sensors*, vol. 13, no. 11, pp. 15434-15451.
- FERNÁNDEZ-MAYA, J., 2015. Variabilidad de la práctica clínica en la manipulación del reservorio subcutáneo en los hospitales de día de España.
- FLUXICON, 2015. Fluxicon. Process mining for professionals. Discover your procesess. ,
- FRANKY, C., 2010. Java EE 5 (sucesor de J2EE).

- GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R. y VLISSIDES, J., 1995. Design Patterns. Addison Wesley.
- GARCÍA, A.P. y PÉREZ, S.M.G., 2016. Procedimiento para el análisis de variabilidad en la ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS generados con el motor de flujo jbpmp.
- GILBERT, D., 2014. JFreeChart 1.0.19 Installation Guide.
- GUALANCAÑAY, G. y XAVIER, L., 2013. Automatización de procesos hospitalarios de control de pacientes infectados con VIH-SIDA en el Hospital de Infectología Dr. José Rodríguez Maridueña de la ciudad de Guayaquil.
- GÜNTHER, C.W. y AALST, W. van der, 2007. Fuzzy mining—adaptive process simplification based on multi-perspective metrics.
- HERNANDEZ, A., 2014. La caracterización y clasificación de sistemas, un paso necesario en la gestión y mejora de procesos. Particularidades en organizaciones hospitalarias. *Revista de la Facultad de Minas*.
- HERNÁNDEZ, A., MEDINA, A., NOGUEIRA, D. y MARQUÉS, M., 2010. El uso del case mix como un método de reducción de programas de producción hospitalaria y herramienta de apoyo a la gestión y mejora de procesos.
- HERNÁNDEZ, A.N., 2006. Diagramas AS IS para gestión de procesos hospitalarios. [en línea]. [Consulta: 1 enero 2017]. Disponible en: <https://www.gestiopolis.com/diagramas-as-is-para-gestion-de-procesos-hospitalarios/>.
- IEEE TASK FORCE ON MINING PROCESS, 2011. Manifiesto sobre Minería de Procesos.
- IPYC INGENIEROS EN CALIDAD Y PRODUCCIÓN, 2017. Mapa de Cadena de Valor VSM. [en línea]. Disponible en: <http://ipyc.net/organizacion-y-lean/lean-manufacturing/mapa-de-cadena-de-valor-vsm.html>.
- ISO, 2017. Sistemas de gestión de la calidad — Fundamentos y vocabulario. [en línea]. Disponible en: <http://www.normas9000.com/content/Glosario.aspx>.
- ISO/TC, 2008. Conjunto de documentos para la Introducción y el Soporte de la serie de normas ISO 9000: Orientación sobre el Concepto y Uso del Enfoque basado en procesos para los sistemas de gestión.
- JBPM, 2016. JBPM - Unionpedia, el mapa conceptual. [en línea], Disponible en: <Http://es.unionpedia.org/JBPM>.
- LARMAN, C., 2003. UML y Patrones. *Prentice Hall*,
- LARREA, O.U. y PÉREZ, Y.E., 2015. Personalización del plugin Inductive visual Miner de ProM para la detección de eventualidades en los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. ,
- LEÓN, H.R.A. y COELLO GONZÁLEZ, S., 2011. El Proceso de Investigación Científica.

- LEÓN, I.H. y DÁVILA, C.L., 2016. *Vista de análisis para identificar cuellos de botella en la ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS*. S.I.: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- LI, J., 2010. Fuzzy Miner plug-in 1.2.
- MADEJA, 2015. Buenas prácticas en el diseño de pruebas de rendimiento | Marco de Desarrollo de la Junta de Andalucía. [en línea], Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/servicios/madeja/contenido/libro-pautas/75>.
- MAIMON, O. y ROKACH, L., 2010. *Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*. New York: s.n. ISBN 978-0-387-09823-4.
- MANS, R.S., REIJERS, H.A., GENUCHTEN, V.M. y WISMEIJER, D., 2012. Mining processes in dentistry. ACM International Health Informatics Symposium.
- MANS, R.S., SCHONENBERG, M.H., SONG, M. y AALST, W. van der, 2008. Process mining in healthcare.
- MANS, R.S., VAN DER AALST, W.M., VANWERSCH, R.J. y MOLEMAN, A.J., 2013. Process mining in healthcare: Data challenges when answering frequently posed questions. In *Process Support and Knowledge Representation in Health Care*. ,
- MARTÍNEZ, A.N. y GONZÁLEZ, D.R., 2017. Vista de análisis para la predicción basada en tiempo en los procesos del sistema Xavia HIS.
- MAZORRA, M.A. et al., 2015. Componente web para detectar incongruencias en procesos hospitalarios personalizando el plugin Heuristic Miner de ProM. , vol. 8, no. 2, pp. 42-51.
- MEDINA, L.V. y MÉNDEZ, L.J.R., 2015. Componente para la extracción de registros de eventos en formato XES del Sistema de Gestión de Ensayos Clínicos (SIGEC).
- MICIO, R., FONTANILI, F., MARQUES, G., BOMERT, P. y LAURAS, M., 2015. RtlS-based process mining: Towards an automatic process diagnosis in healthcare, in: *Automation Science and Engineering (CASE)*.
- NC/ISO-9001, 2015. Sistema de gestión de calidad.
- OQUENDO, Y., YBARRA, C. y ALVARADO, E.E., 2011. Desarrollo de un componente de Transmisión de Audio y Video para el Sistema de Teleconsulta.
- ORELLANA, A.G., 2015. Herramienta para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando minería de procesos.
- ORELLANA, A.G., 2016. *Modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios utilizando técnicas de Minería de Procesos. Tesis doctoral*. S.I.: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- ORELLANA, A.G., ARMENTEROS, O.U.L., RAMIREZ, Y.E.P. y ALFONSO, D.P., 2016. Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital

- Information System. , vol. 14, no. 4.
- PERDOMO, R. y CRUZ, I., 2015. Procedimiento de Conformidad aplicando Minería de Procesos desde la perspectiva tiempo en el Sistema de Información Hospitalaria del Centro de Informática Médica.
- PÉREZ, N.M. y REYES, J.A.M., 2016. *Componente para la interpretación de modelos de procesos del sistema de información hospitalaria del centro de informática médica*. S.l.: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- PROCESS MINING GROUP, 2009. Fuzzy Minner-como usar el plugin en ProM.
- PROCESS MINING GROUP OF EINDHOVEN UNIVERSITY, 2016. Process mining. [en línea]. Disponible en: <http://www.processmining.org>.
- QPR SOFTWARE, 2011. Automated Business Process Discovery Software QPR ProcessAnalyzer. ,
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2017. Real Academia Española. [en línea]. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=0jmLlgY>.
- REBUGE, Á. y FERREIRA, D.R., 2012. Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining. , vol. 37, no. 2.
- RENÉ, R., MIÑO, G.C., SAUMELL, E.F., TOLEDO, A.B., ROLDAN, A.R. y MORENO, R.R.G., 2015. *Planeación de requerimientos de materiales por el sistema MRP . Caso Laboratorio Farmacéutico*. S.l.: s.n.
- RODRÍGUEZ, H.G., 2014. *Mejoramiento de la atención interna del "Hospital Clínica Kennedy Alborada"*. S.l.: Universidad De Guayaquil, Ingeniería Industrial.
- ROMANGO, M.R. et al., 2010. Contribución de la ingeniería de software al modelado de procesos de educación a distancia. *WICC*
- ROTH, W.J., NACHTIGALL, P., MORRIS, R.E., WHEATLEY, P.S., SEYMOUR, V.R., ASHBROOK, S.E. y ČEJKA, J., 2013. A family of zeolites with controlled pore size prepared using a top-down method. *Nature chemistry*, vol. 5, no. 7, pp. 628-633.
- SALTER, D. y DANTAS, R., 2014. NetBeans IDE 8 CookBook.
- SCRIBD, 2012. Persistencia-Hibernate.
- SOFTWARE AG, 2011. ARIS Process Performance Manager. [en línea], Disponible en: [http://www2.softwareag.com/corporate/products/aris\\_alfabet/bpa/default.aspx](http://www2.softwareag.com/corporate/products/aris_alfabet/bpa/default.aspx).
- SONG, M. y AALST, W. van der, 2011. Supporting Process Mining by Showing Events at a Glance.
- SOSA, A. y PEREIRAS, K., 2015. Personalización del plugin Fuzzy Miner de PROM para detectar ruidos en los procesos del Sistema de Información Hospitalaria.
- STÄRK, R.F., SCHMID, J. y BÖRGER, E., 2012. Java and the Java virtual machine: definition, verification, validation.

SUN MICROSYSTEMS, 2014. Java Runtime Environment (JRE).

TITO, L.M.C., 2017. Vista de análisis de la interacción del personal que ejecuta los procesos del Sistema para la Planificación de Actividades SIPAC.

VÁZQUEZ, C., 2016. Introducción a JasperReports e iReport.

VERBEEK, H.M.W., 2010. ProM 6 Tutorial.

## Anexos

**Anexo 1:** Cuestionario para evaluación de la satisfacción del usuario con respecto a la herramienta para evaluación de procesos hospitalarios.

Estimado (a): la presente encuesta forma parte de una investigación que está dirigida a comprobar la factibilidad de la integración de las técnicas de minería de procesos incluidas en el sistema Xavia HIS, en una herramienta externa que permita analizar el comportamiento de los procesos hospitalarios en otros sistemas. 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. Por cuanto, sus valoraciones acerca de los asuntos que se someten a su consideración servirán de ayuda.

*Tabla 6. Encuesta realizada para aplicar técnica de ladov*

EVALUACION DE SATISFACCIÓN PARA LA HERRAMIENTA ACTIFLOW MINER		
No	Preguntas	Respuestas
1.	¿Considera usted que sin realizar análisis de procesos en el entorno hospitalario es posible garantizar la calidad en los servicios brindados?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé
2.	¿Usaría usted la herramienta ActiFlow Miner para la valoración de los procesos en instituciones hospitalarias?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé
3.	Si tuviera que analizar un proceso organizacional con una herramienta informática ¿Cuál sería su motivación? Seleccione una sola opción.	<input type="checkbox"/> Ahorro de tiempo <input type="checkbox"/> Resultados confiables <input type="checkbox"/> Basado en datos reales
4.	¿Qué elementos a su entender, mejora la herramienta propuesta con respecto a las ya existentes de minería de procesos? Seleccione una sola opción.	<input type="checkbox"/> Usabilidad <input type="checkbox"/> Comprensión <input type="checkbox"/> Ninguno <input type="checkbox"/> No sé
5.	¿Le satisface el resultado mostrado en la herramienta ActiFlow Miner?	<input type="checkbox"/> 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

		___ No sé qué decir
--	--	---------------------

**Tabla 7. Resultados de la encuesta realizada para aplicar técnica de ladov**

Pregunta 1	<b>Si</b>	<b>No sé</b>	<b>No</b>			
	1	1	20			
Pregunta 2	<b>Si</b>	<b>No sé</b>	<b>No</b>			
	22	0	0			
Pregunta 3	<b>Ahorro de tiempo</b>	<b>Resultados confiables</b>	<b>Basado en datos reales</b>			
	14	4	4			
Pregunta 4	<b>Usabilidad</b>	<b>Comprensión</b>	<b>Ninguno</b>	<b>No sé</b>		
	10	10	0	0		
Pregunta 5	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
	20	0	1	0	0	1

Leyenda pregunta 5:

1. Me gusta mucho.
2. No me gusta tanto.
3. Me da lo mismo.
4. Me disgusta más de lo que me gusta.
5. No me gusta nada.
6. No sé qué decir.