



Universidad de las Ciencias Informáticas
Centro de Soluciones de Informática Médica CESIM

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE MÁSTER EN INFORMÁTICA
APLICADA**

**HERRAMIENTA PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN
PROCESOS HOSPITALARIOS APLICANDO MINERÍA DE PROCESOS**

AUTOR: ING. ARTURO ORELLANA GARCÍA

TUTORES: DR. ARTURO CÉSAR ARIAS ORIZONDO
MSc. DAMIÁN PÉREZ ALFONSO

La Habana, 2015
"Año 57 de la Revolución"

*A mi madre, mi padre y mis hermanos, por todo su sacrificio.
A mi amigo Carlos Xavier y familia, por su apoyo incondicional, su preocupación y
los insuperables momentos de alegría que compartimos.
A mi amigo Maikort, más que un amigo ha sido mi gran hermano toda la vida.
A todas las personas que de alguna u otra forma me han apoyado en la realización
de esta tesis.*

A todos dedico este trabajo, porque todos forman parte del mismo y de mi vida.

Declaración Jurada de Autoría y Agradecimientos

Declaración Jurada de Autoría y Agradecimientos

Declaro por este medio que yo Arturo Orellana García, con carné de identidad 88052618740, soy el autor principal del trabajo final de maestría titulado Herramienta para el análisis de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando minería de procesos, desarrollada como parte de la Maestría en Informática Aplicada y que autorizo a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso de la misma en su beneficio, así como los derechos patrimoniales con carácter exclusivo.

Este trabajo fue desarrollado durante los años 2014 - 2015 en colaboración con mis colegas:

| | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Ing. Osvaldo Ulises Larrea Armenteros | Ing. Yosbani Pérez Ramírez |
| Ing. Adrián Sosa Benítez | Ing. Katherine Pereiras Viera |
| Ing. Antonio Valladares Martínez | Ing. Lisandra Castañeda Domínguez |
| Ing. Alejandro Marcial Reyes Gainza | Ing. Mayrelis Abreu Mazorra |
| Ing. Lian Jaime Ramayo Méndez | Ing. Lilian Valdés Medina |

A Quienes les agradezco todo el apoyo brindado y me reconocen la autoría principal del resultado expuesto en esta memoria.

Agradezco además a los miembros del grupo de investigación de minería de procesos, en especial a Damián.

Agradezco a mi tutor Arturo por su experiencia científica y toda la ayuda para hacer de este trabajo un material de calidad.

Finalmente declaro que todo lo anteriormente expuesto se ajusta a la verdad, y asumo la responsabilidad moral y jurídica que se derive de este juramento profesional.

Y para que así conste, firmo la presente declaración jurada de autoría en La Habana a los _____ días del mes de diciembre del año 2015.

Ing. Arturo Orellana García
Autor

Resumen

Los métodos para el análisis de procesos en instituciones sanitarias, se basan en la experiencia profesional y la práctica, lo que implica gastos de recursos y tiempo. Estos métodos, por lo general obvian o introducen variabilidad en la ejecución real de los procesos. Los sistemas informáticos de las instituciones sanitarias cuentan con un volumen importante de información, sin embargo, carecen de herramientas que permitan analizar la ejecución de sus procesos. La mayoría de estos sistemas utilizan mecanismos para registrar los datos de sus procesos en una bitácora, la cual es el punto de partida de la Minería de Procesos (MP). Las técnicas de MP analizan los datos reales de sistemas informáticos y son especialmente útiles para la detección de variabilidad en la ejecución de los procesos de negocio. Las herramientas de MP tienen como desafío la usabilidad para no expertos en esta tecnología.

El objetivo que se persiguió en la investigación fue desarrollar una herramienta informática que integre y adapte las técnicas de minería de procesos en el sistema de información hospitalaria XAVIA HIS para facilitar su uso en la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

Como resultado se obtuvo una herramienta que favorece el análisis de procesos hospitalarios y se comprobó experimentalmente su eficacia para detectar variabilidad. Con su aplicación en entornos reales se verificó que obtiene resultados en tiempos relativamente pequeños. La herramienta contribuye al uso de la minería de procesos por usuarios no expertos para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

Índice

| | |
|---|----|
| Introducción | 1 |
| Capítulo 1. Marco Teórico Referencial de la Investigación..... | 8 |
| 1.1. Variabilidad en los procesos hospitalarios | 8 |
| 1.2. Conceptos asociados a la investigación | 10 |
| 1.2.1. Proceso de negocio | 11 |
| 1.2.2. Gestión por procesos | 11 |
| 1.2.3. Modelo de proceso..... | 13 |
| 1.2.4. Comprensión e interpretación de los modelos de procesos | 13 |
| 1.3. Herramientas y tecnologías para el modelado de procesos | 14 |
| 1.3.1. Mapas de la cadena de valor | 14 |
| 1.3.2. Diagramas As-Is | 15 |
| 1.3.3. Diagramas OPERIN | 15 |
| 1.3.4. Diagramas de Recorrido | 15 |
| 1.3.5. Modelo de proceso de minería de procesos..... | 15 |
| 1.3.6. Otras representaciones..... | 16 |
| 1.3.7. Análisis comparativo | 16 |
| 1.4. Minería de procesos..... | 17 |
| 1.4.1. Registro de eventos | 18 |
| 1.4.2. Minería de procesos en el entorno hospitalario | 20 |
| 1.4.3. Sistemas automatizados asociados a la minería de procesos..... | 21 |
| 1.5. Técnicas de minería de procesos para integrar al HIS | 23 |
| 1.5.1. Fuzzy Miner | 25 |
| 1.5.2. Heuristic Miner | 26 |
| 1.5.3. Inductive visual Miner..... | 26 |
| 1.5.4. Variants Miner | 26 |
| 1.6. Conclusiones parciales | 27 |
| Capítulo 2. Propuesta de Solución..... | 28 |
| 2.1. Descripción de la herramienta propuesta..... | 28 |
| 2.2. Componente para la extracción y transformación de trazas | 29 |
| 2.3. Componente para obtener una vista global del proceso | 30 |
| 2.3.1. Heuristics Miner | 30 |
| 2.3.2. Parámetros del complemento Heuristics Miner | 31 |
| 2.3.1. Visualización de los resultados | 32 |
| 2.4. Componente para el análisis de Frecuencia | 33 |

Índice

| | | |
|---|---|-----------|
| 2.4.1. | Fuzzy Miner | 33 |
| 2.4.2. | Configuración de métricas..... | 34 |
| 2.4.3. | Configuración de medición..... | 36 |
| 2.4.1. | Visualización de los resultados | 37 |
| 2.5. | Componente para el análisis de tiempo | 39 |
| 2.5.1. | Inductive visual Miner..... | 39 |
| 2.5.1. | Visualización de los resultados | 41 |
| 2.6. | Componente para el análisis de las variantes alternativas de proceso | 42 |
| 2.6.1. | Variants Miner | 42 |
| 2.6.2. | Incorporación de la perspectiva temporal a Variants Miner | 43 |
| 2.6.3. | Visualización de los resultados | 44 |
| 2.7. | Conclusiones parciales | 45 |
| Capítulo 3. Validación de la propuesta de solución | | 46 |
| 3.1. | Pruebas de software | 46 |
| 3.1.1. | Pruebas funcionales..... | 46 |
| 3.1.2. | Pruebas de rendimiento | 47 |
| 3.2. | Herramienta para el análisis de variabilidad vs ProM | 48 |
| 3.3. | Análisis de procesos aplicando Inductive visual Miner personalizado . | 50 |
| 3.3.1. | Análisis de desviaciones | 50 |
| 3.3.2. | Análisis de cuellos de botella | 52 |
| 3.3.3. | Análisis de frecuencia | 52 |
| 3.4. | Análisis de procesos aplicando Fuzzy Miner personalizado | 53 |
| 3.4.1. | Análisis de ruido en aristas | 53 |
| 3.4.2. | Análisis de actividades de baja frecuencia | 54 |
| 3.5. | Análisis de procesos aplicando Variants Miner personalizado..... | 56 |
| 3.6. | Índice de satisfacción de expertos y usuarios potenciales..... | 59 |
| 3.7. | Conclusiones parciales | 60 |
| Conclusiones | | 61 |
| Recomendaciones | | 62 |
| Referencias Bibliográficas..... | | 63 |
| Anexos..... | | 70 |

Índice de Figuras y Tablas

| | |
|---|----|
| Figura. 1. Gasto en Salud dados en por cientos con respecto al PIB de países latinoamericanos y caribeños. | 10 |
| Figura. 2. Gasto en Salud dados en por cientos con respecto al PIB de países latinoamericanos y caribeños agrupados.. | 10 |
| Figura. 3. Representación de un proceso. | 11 |
| Figura. 4. Ciclo de vida de BPM. | 12 |
| Figura. 5. Tipos de minería de procesos representados en flujo. | 18 |
| Figura. 6. Resumen de un registro de eventos. | 18 |
| Figura. 7. Ejemplo de un registro de eventos. | 19 |
| Figura. 8. Técnicas de minería de procesos más utilizadas según usuarios y expertos | 24 |
| Figura. 9. Técnicas de minería de procesos más usables y comprensibles según usuarios y expertos. | 24 |
| Figura. 10. Diseño conceptual de la herramienta para el análisis de variabilidad en procesos hospitalarios. | 29 |
| Figura. 11. Modelo de proceso, representado mediante red heurística. | 33 |
| Figura. 12. Modelo de proceso, representado mediante la notación BPMN. | 33 |
| Figura. 13. Interfaz del modelo obtenido al aplicar Heuristics Miner. | 33 |
| Figura. 14. Interfaz de la personalización de Fuzzy Miner en el HIS. | 38 |
| Figura. 15. Cadena de análisis de IvM. | 39 |
| Figura. 16. Interfaz del componente para el análisis de eventualidades personalizando el complemento IvM en el HIS. | 41 |
| Figura. 17. Fórmula de media aritmética. | 43 |
| Figura. 18. Interfaz del componente de análisis de tiempo a partir de Variants Miner en el HIS. | 45 |
| Figura. 19. Pruebas funcionales. | 46 |
| Figura. 20. Diagrama de tiempos de respuesta de las técnicas personalizadas en la herramienta dados en segundos. | 48 |
| Figura. 21. Desviación de un proceso, a) movimiento del modelo, b) movimiento del registro. | 50 |
| Figura. 22. Interfaz del HIS de aristas con ruido en el proceso desincorporar producto. | 54 |
| Figura. 23. Interfaz del HIS para la configuración del valor frecuencia de actividades. | 55 |
| Figura. 24. Interfaz de actividades con frecuencia menor a 30 por ciento. | 56 |
| Figura. 25. Modelo del proceso Procesar Solicitudes. | 56 |
| Figura. 26. Modelo del subproceso crear cronograma de entrega. | 57 |
| Figura. 27. Modelo del subproceso crear contrato. | 58 |
| Figura. 28. Resultados de la aplicación del Índice de Satisfacción Grupal. | 60 |

Índice de Figuras y Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Características deseadas para el análisis de variabilidad..... | 16 |
| Tabla 2. Investigaciones de minería de procesos que aplican los criterios para el análisis de procesos..... | 23 |
| Tabla 3. Técnicas de minería de procesos evaluadas con los criterios para el análisis de procesos hospitalarios..... | 25 |
| Tabla 4. Resumen de las pruebas de software realizadas. | 47 |
| Tabla 5. Tiempos de respuesta (en segundos) de las técnicas personalizadas en la herramienta al analizar diferentes registros de eventos..... | 47 |
| Tabla 6. Caminos del proceso <i>Solicitar producto</i> con el número de desviaciones correspondiente a cada uno, entre las fechas 01/01/2011 y 01/01/2015. | 51 |
| Tabla 7. Cantidad de instancias por actividades del proceso <i>Solicitar producto</i> en el rango de fecha 01/01/2011 - 01/01/2015..... | 52 |
| Tabla 8. Interpretación de frecuencia en aristas del proceso “Desincorporar Producto” del HIS. | 53 |
| Tabla 9. Interpretación de la presencia de ruido con datos obtenidos por el complemento Fuzzy Miner desde el HIS. | 54 |
| Tabla 10. Establecimiento de métricas para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal. | 58 |
| Tabla 11. Identificación de las métricas para el modelo del proceso Procesar Solicitudes..... | 59 |
| Tabla 12. Resultados de la encuesta. | 70 |

Introducción

Las actividades sanitarias son complejas, están sometidas frecuentemente a entornos cambiantes y regidas por personas con formaciones y criterios dispares, que condicionan el transcurrir de cada proceso con sus decisiones [Sescam, 2002]. Los métodos tradicionales de análisis de procesos (reuniones de grupo, entrevistas o la remisión a textos y revistas científicas), se caracterizan por el uso de la experiencia y el conocimiento acumulados por los profesionales en la práctica clínico administrativa. Estos análisis suelen ser subjetivos, por lo general no contemplan la existencia de variabilidad en la ejecución de los procesos [Mans et al., 2015].

Dos factores que contribuyen a la existencia de errores en la industria de la salud son el alto grado de variabilidad del proceso de unidad a unidad (se refiere a pacientes y recursos) y las dificultades para la identificación de esta variabilidad. La identificación de los procesos y la reducción de la variabilidad se traducen en una mejora significativa en los índices de morbilidad y mortalidad, el ahorro de recursos y control de las actividades. Se propicia también la mejora de las métricas críticas tales como la calidad de años de vida en la población de pacientes [Loxton, 2015].

Se ha calculado que la industria de la salud ha incurrido en el deceso de más de 400.000 pacientes al año sólo en EEUU, a partir de los errores médicos evitables [James, 2013]. Muchas de estas muertes evitables se deben a procesos ineficaces e ineficientes, y traspasos entre actividades y procesos. (...) *las investigaciones orientadas a las acciones sobre la variabilidad en procesos de salud constituyen una prioridad, donde los métodos y herramientas de análisis de datos pueden desempeñar un papel importante y fundamental.* [Loxton, 2015].

La doctora Hernández Nariño, investigadora cubana de la mejora de procesos hospitalarios afirma que la variabilidad en los procesos hospitalarios está presente: (...) *cada vez que se repite el proceso y hay ligeras variaciones en las distintas actividades realizadas que a su vez, generan variabilidad en los resultados del mismo. “Nunca dos salidas son iguales”* [Hernández-Nariño et al., 2013].

Para minimizar la variabilidad en sus procesos, la actividad hospitalaria busca incorporar herramientas y modelos de gestión del mundo industrial como Benchmarking, Gestión por Procesos o Reingeniería [Hernández-Nariño et al., 2010; Sescam, 2002],

Introducción

además de generalizar como parte de la cultura organizacional la revisión de los procesos. [Prieto & Pérez, 2002].

La Gestión por Procesos de Negocio (*BPM*, por sus siglas en inglés) ha devenido como un instrumento básico en las instituciones de salud, cuya visión es la de trabajar en la gestión hospitalaria con valor añadido al paciente. El desarrollo de esta forma de gestión pasa por identificar, comprender, estabilizar y controlar mejor las áreas de responsabilidad médica en centros de salud [Hernández-Nariño et al., 2013].

Además, la gestión por procesos busca reducir la variabilidad que aparece habitualmente cuando se producen o prestan determinados servicios, pues *“sin una gestión adecuada de los diferentes elementos (...), la práctica clínica puede encontrar una variabilidad por encima de lo razonablemente esperable, y alejarse con facilidad de los intereses de los pacientes y de los profesionales”*. [Hernández-Nariño et al., 2010]. La BPM gana cada vez más prestigio, entre otras razones, por el hecho de que las organizaciones son tan eficientes como lo son sus procesos [Amozarrain, 1999].

Una tecnología asociada a la gestión por procesos, de impacto creciente en esferas como la industrial y empresarial lo constituye la minería de procesos (*process mining*, por su nombre en inglés) [van der Aalst, 2011]. Su aplicación posibilita entender cómo son ejecutados en realidad los procesos en sistemas automatizados. La minería de procesos ayuda a identificar cuellos de botella, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas y simplificar procesos [van der Aalst, 2011], elementos que influyen en la existencia de variabilidad en su ejecución.

Aunque la aplicación de esta tecnología es reciente, las empresas, centros e instituciones a nivel mundial la están incorporando a sus aplicaciones con el objetivo de descubrir, monitorear y mejorar sus procesos de negocio [Rebuge & Ferreira, 2012; Günther, 2009]. De igual forma, se observa una vinculación a la mayoría de los sectores sociales, no así en la rama hospitalaria [Mans et al., 2009], la cual tiene una influencia alta en la calidad de vida de los ciudadanos.

El profesor Will van der Aalst, precursor de la minería de procesos en la entrevista: *"Could BPM and Process Mining Save US Healthcare 600 Billion Dollars?"* realizada por el Dr. Charles Webster en 2013 plantea que: *"Tenemos un interés particular en la salud porque los procesos son mucho más caóticos que en otras industrias, y los ahorros potenciales son enormes (...). Esto ilustra que la asistencia sanitaria es un dominio de aplicación muy difícil, y por lo tanto interesante para BPM y la minería de procesos"* [van der Aalst, 2013].

Introducción

Estados Unidos, por ejemplo, tiene un gasto estimado de 765 billones de dólares por año en la industria de la Salud, cerca de un tercio del gasto mundial (2.5 trillones USD) [Banco Mundial, 2015]. Van der Aalst afirma [van der Aalst, 2013] que la gestión por procesos y la minería de procesos pueden ahorrar 600 billones si se aplican en el sistema sanitario de ese país.

Las organizaciones sanitarias se han adaptado a los sistemas y las tecnologías de información que han surgido, facilitándoles crecer y sobre todo, brindar mejores y variados servicios. Los sistemas desarrollados para automatizar la gestión de los diferentes procesos hospitalarios [Kanteron HIS, 2015; Alfatec HIS, 2015; TESIS HIS, 2015; Akhil Systems, 2015], proporcionan nuevas oportunidades de mejora en los métodos y técnicas asistenciales, mediante la integración de tecnologías de información y médicas [Mans et al., 2008]. Sin embargo, estos sistemas no son aprovechados para obtener conocimientos acerca de la ejecución de los procesos al no disponer de métodos o herramientas para su análisis [Prieto & Pérez, 2002; Conesa et al., 2003; Silveira et al., 2012; Hernández-Nariño et al., 2014].

El Centro de Informática Médica de la UCI tiene entre sus productos el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS, el cual está orientado a recopilar, almacenar, procesar e interpretar información clínico administrativa de instituciones sanitarias. El sistema tiene definidos procesos que son ejecutados con el motor de flujo jBPM [Cuervo et al., 2013], el cual garantiza el almacenamiento de sus datos con las características necesarias para generar registros de eventos. De esta forma, el HIS 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 HIS y analizar la existencia de variabilidad en sus procesos, es necesario el uso de un conjunto de herramientas orientadas a esta finalidad. El proceso de minería comienza utilizando la herramienta XESame [Günther, 2009a], Eventifier [Rodríguez et al., 2012] o un equivalente para extraer la información necesaria de la bitácora del XAVIA HIS. Para lograrlo es necesario tener conocimientos sobre la base de datos del sistema, las configuraciones técnicas para extraer la información útil y los requisitos que deben cumplir los registros de eventos. Una vez obtenida la información de la bitácora se genera un registro de eventos y se exporta en formato estándar XES.

El registro de eventos es importado a herramientas de análisis como ProM [van der Aalst et al., 2009] o Disco [Fluxicon, 2009], la primera es una herramienta académica y

Introducción

de libre acceso, mientras que la segunda es comercial. El marco de trabajo ProM provee más de 600 técnicas con capacidades de minería de procesos, una cifra que imposibilita saber cuáles usar en determinados contextos o situaciones. Además de que cada técnica tiene un conjunto de métricas y parámetros de necesaria configuración. Como resultado se obtiene un modelo de la ejecución del proceso. Las herramientas de Minería de procesos, aunque son eficientes en su campo, poseen alta complejidad en configuraciones técnicas y procedimientos engorrosos [Mans et al., 2013], tanto para extraer registros de eventos como para obtener modelos de la ejecución de los procesos.

El Manifiesto de la minería de procesos [IEEE Task Force on Process Mining, 2011], documento rector de la disciplina plantea como desafío la usabilidad para usuarios no expertos, lo que constituye un inconveniente para la aplicación de esta tecnología, en su estado actual, por profesionales de instituciones sanitarias. Así mismo, plantea como desafío el entendimiento para los no expertos, de los modelos generados a partir de sus herramientas, lo cual limita la capacidad de análisis de los profesionales sanitarios.

A partir del análisis documental realizado y un diagnóstico preliminar al dominio del problema se identificaron un conjunto de insuficiencias vinculadas a la problemática existente:

- ✦ La existencia de variabilidad en los procesos de negocio en instituciones sanitarias provoca gastos asociados a los recursos y al tiempo empleado para su detección y análisis.
- ✦ El escaso aprovechamiento de la información almacenada en los sistemas de las instituciones sanitarias propicia a que en los análisis para la gestión y control de sus procesos de negocio, se excluya una fuente invaluable de conocimientos basados en datos reales.
- ✦ La carencia de herramientas informáticas que permitan analizar la variabilidad en los procesos de negocio en el sector de la salud, no favorece la exploración de alternativas para la toma de decisiones sobre su ejecución.
- ✦ Las técnicas de minería de procesos, a pesar de su utilidad para el análisis de procesos de negocio, no son adecuadas en su estado actual para su aplicación por personas no expertas en esta tecnología.

De lo antes planteado se identificó el siguiente **problema científico**: *¿Cómo facilitar el uso de técnicas de minería de procesos para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios?*

Introducción

Para solucionar el problema y como resultado del análisis de la literatura especializada, se formuló la siguiente **hipótesis**: *Si se desarrolla una herramienta informática que integre y adapte técnicas de minería de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS, se facilitará su uso para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.*

El **objeto de estudio** se centró en *la gestión basada en procesos en los sistemas de información del sector de la salud*. Mientras que el **campo de acción** se delimita a *las técnicas de minería de procesos para la detección de la variabilidad en procesos hospitalarios.*

En correspondencia con la hipótesis planteada, el **objetivo general de la investigación** consistió en: *desarrollar una herramienta informática que integre y adapte las técnicas de minería de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS para facilitar su uso en la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.*

El objetivo general fue desglosado en los siguientes **objetivos específicos**:

1. Construir el marco teórico y referencial de la investigación, relacionado a los métodos y herramientas existentes para el análisis de procesos hospitalarios, la minería de procesos y la detección de variabilidad.
2. Desarrollar un componente informático para generar registros de eventos del Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS.
3. Desarrollar una herramienta informática basada en minería de procesos, para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.
4. Validar la solución propuesta a partir de los métodos definidos en la investigación.

Se definieron las siguientes variables de investigación:

Como parte del diseño metodológico se siguió una estrategia explicativa pues los conocimientos precedentes acerca del problema han sido suficientes para plantear una hipótesis explicativa y la representación del problema es clara con respecto a la caracterización del fenómeno en sus aspectos externos.

Se exploraron diferentes métodos tradicionales, tendencias y alternativas de análisis de los procesos hospitalarios, basados en la ejecución de sus actividades clínico administrativas. Lo anterior fundamentó el desarrollo de una herramienta de software que propicia dar solución a las insuficiencias reportadas en la literatura respecto a las técnicas de minería de procesos y el análisis de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

Introducción

Bajo este paradigma fueron articulados y aplicados los siguientes **métodos y técnicas**:

Los **métodos teóricos** empleados son: el hipotético deductivo, analítico sintético, histórico lógico, inductivo deductivo, y modelación.

- ✦ **Hipotético – deductivo**: Para formular la hipótesis de la investigación y proponer nuevas líneas de trabajo a partir de los resultados.
- ✦ **Analítico – sintético**: Para descomponer el problema de investigación en elementos, profundizar en su estudio y luego sintetizarlos en la solución propuesta.
- ✦ **Histórico – lógico**: Con el fin de realizar un análisis crítico sobre la evolución de los diferentes enfoques asociadas a las tecnologías de modelado, la usabilidad de las técnicas de minería de procesos por no expertos y la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.
- ✦ **Inductivo – deductivo**: Se aplicó para obtener un grupo de conocimientos, analizando los datos generales válidos para llegar a una conclusión particular, específicamente sobre la forma de analizar los procesos hospitalarios para la detección de variabilidad a partir de un sistema informático.
- ✦ **Modelación**: Se utilizó para desarrollar el flujo conceptual de la propuesta, con el fin de obtener abstracciones e interpretar la realidad.

Los **métodos empíricos** a emplear son: análisis documental, experimentación y medición.

- ✦ **Análisis documental**: En la revisión de la literatura especializada, tanto académica como empresarial, para extraer la información necesaria que permitió realizar el proceso de investigación.
- ✦ **Análisis comparativo**: Para detectar similitudes, diferencias e insuficiencias entre los modelos obtenidos de ProM y la herramienta propuesta como solución a la problemática.
- ✦ **Iadov**: Para evaluar y corroborar por expertos y potenciales usuarios, la factibilidad y pertinencia de la herramienta propuesta.
- ✦ **Métodos estadísticos**: En el análisis de las encuestas aplicadas a expertos y potenciales usuarios.
- ✦ **Experimentación**: Se realizó con datos provenientes de situaciones reales, suministrados por el Sistema de Información Hospitalaria del Centro de Informática Médica de la UCI

Introducción

La novedad de la investigación se expresa mediante los siguientes aportes:

Aportes prácticos

- ✦ Un componente para la extracción y transformación de trazas en registros de eventos del Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS.
- ✦ Una herramienta de minería de procesos para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios desde el XAVIA HIS.

Aportes sociales

Contribuye a la toma de decisiones sobre funciones gerenciales en las organizaciones de salud como la planificación, el control y la gestión de recursos. La investigación está acorde a la Política Económica y Social del PCC en sus lineamientos 131 y 132 de la política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente. Así mismo, responde al lineamiento 154 de la Política Social en el sector de Salud.

Estructura del documento

La tesis está estructurada en: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y un cuerpo de anexos.

- ✦ **Capítulo 1:** 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 representar variabilidad. Se introduce y aborda la gestión por procesos de negocio y la minería de procesos como alternativa de solución.
- ✦ **Capítulo 2:** Describe la herramienta desarrollada para el análisis de variabilidad en procesos hospitalarios. Se presentan las configuraciones y métricas para su uso y aplicación.
- ✦ **Capítulo 3:** Contiene la evaluación de los resultados alcanzados en la investigación. Se aplica la herramienta desarrollada para el análisis de variabilidad en procesos hospitalarios. Así mismo, se determina el Índice de Satisfacción Grupal aplicando la técnica ladov a expertos y usuarios potenciales.

Marco Teórico Referencial 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. Variabilidad en los procesos hospitalarios

Los procesos de la institución sanitaria pueden ser agrupados en clave, estratégicos y de soporte. Los procesos clave son aquellos que afectan de modo directo la prestación del servicio asistencial y por tanto a la satisfacción del cliente externo (paciente). Algunos ejemplos de procesos clave son: hospitalización en Planta, atención en urgencias, hospitalización post-quirúrgica, intervención quirúrgica, etc [[Sescam, 2002](#)]. Los procesos estratégicos son aquellos que permiten desarrollar e implantar la estrategia de la institución sanitaria. Algunos ejemplos son: sistema de dirección, planificación estratégica, marketing (centros privados), [[Soler et al., 2011](#)] desarrollo de alianzas estratégicas, gestión de las relaciones con el cliente, autoevaluación, etc.

Por último, los procesos de soporte son todos aquellos que permiten la operación de la institución sanitaria y que sin embargo no son considerados clave por la misma. En general son los procesos de gestión (pago de nóminas, facturación, contabilidad, etc.) y algunos otros como los procesos de auditorías internas, gestión de los sistemas de información, mantenimiento, etc, son considerados como de soporte [[Silveira et al., 2012](#); [Soler et al., 2011](#)].

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.

Marco Teórico Referencial de la Investigación

La variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios influye directamente en el gasto de este sector. Actualmente, el PIB del mundo es de 81 trillones USD [[Banco Mundial, 2015](#)] y el gasto estimado en la industria de la Salud es de 2.5 trillones USD. Este gasto se encuentra influenciado, entre otros factores, por servicios innecesarios, derroche administrativo, errores médicos, variación excesiva en los precios de atención, inversión insuficiente para detectar el fraude, entre otros [[van der Aalst, 2013](#)].

Un informe de la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL) (Bárcena et al., 2013) señala, en referencia a la región, que desde mediados de la década del 2000 el gasto en salud fue ganando estabilidad, sin embargo, permanece relativamente alto. Los países latinoamericanos y caribeños de mayor gasto en salud son Uruguay, Chile y Brasil, con valores per cápita promedio a partir de 2010 de US\$ 1.212 (en 2014: US\$ 1.431), US\$ 1.056 (en 2014: US\$ 1.204) y US\$ 1.076 (en 2014: US\$ 1.085) respectivamente, mientras que el de Cuba es de US\$ 598 (en 2014: US\$ 603), según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) [[Banco Mundial, 2015](#)]. Actualmente este gasto permanece relativamente alto e influenciado por:

- ✦ Irregularidades en la utilización de los recursos.
- ✦ Incidencia de malas prácticas clínicas.
- ✦ Existencia de Procesos ineficientes.
- ✦ Deficiente organización de los servicios.

En investigaciones realizadas sobre el gasto de la salud en países latinoamericanos y del caribe, a partir de datos extraídos y procesados del Banco Mundial [[Banco Mundial, 2015](#)], que contabiliza tanto el gasto público como el privado, se constata que existen variaciones importantes en los % de gasto con respecto al PIB de cada país. Siendo una tendencia el aumento en muchos casos como se muestra en la Figura.

Marco Teórico Referencial de la Investigación

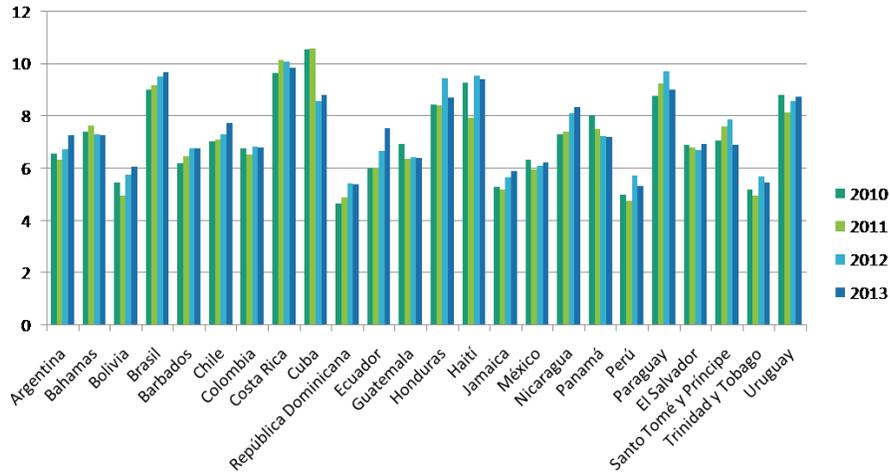


Figura. 1. Gasto en Salud dados en por cientos con respecto al PIB de países latinoamericanos y caribeños. Fuente: Elaboración propia.

Al agrupar estos países en 2 grupos: Países en desarrollo y Todos los niveles de ingreso se observa la tendencia a aumentar el gasto en salud, lo cual podría hacer insostenible importantes servicios sanitarios.

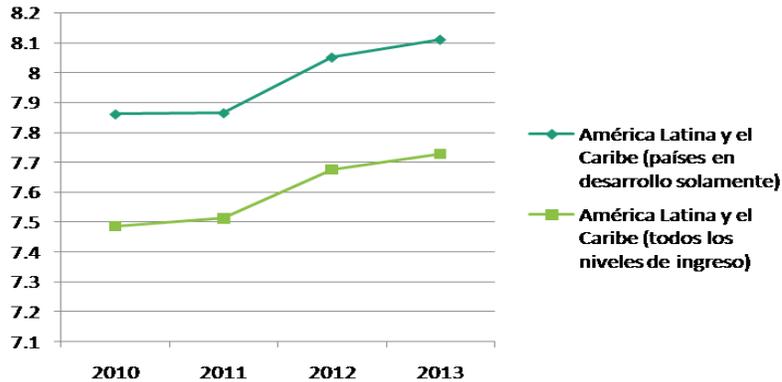


Figura. 2. Gasto en Salud dados en por cientos con respecto al PIB de países latinoamericanos y caribeños agrupados. Fuente: Elaboración propia.

Las organizaciones sanitarias se muestran con ignorancia ante las tecnologías de procesos de negocio, esto implica que los y especialistas en las tecnologías de la información de este sector, necesitan ser educados en lo que respecta a la gestión por procesos.

1.2. Conceptos asociados a la investigación

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

Marco Teórico Referencial de la Investigación

1.2.1. Proceso de negocio

La palabra proceso viene del latín *processus*, que significa avance y progreso.

Según la serie de normas internacionales ISO 9000 (2005) se define un proceso como “conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”.

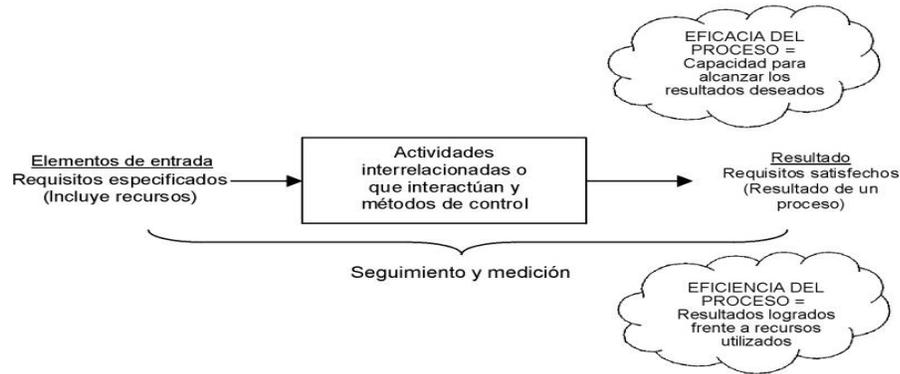


Figura. 3. Representación de un proceso. Fuente: [NC/ISO-9000, 2004]

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

Autores como [Recker et al., 2007] lo definen como un “conjunto de actividades parcialmente ordenados destinadas a alcanzar un objetivo”. Por su parte Weske & Heidelbergh lo definen “Un proceso de negocio es una colección de actividades que son realizadas coordinadamente en un ambiente técnico y organizacional. La conjunción de estas actividades logra un objetivo del negocio. Cada proceso de negocio es ejecutado por una simple organización, pero con él pueden interactuar procesos de negocios de otras organizaciones” [Weske & Heidelbergh, 2007].

La definición de Mathias Weske permite entender qué es el proceso de negocio, el autor del presente trabajo asume esta definición para el resto de la investigación, elemento clave para introducir y comprender el término de Gestión por Procesos.

1.2.2. Gestión por procesos

Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan entre sí. La identificación y gestión sistemática de los procesos empleados en la organización y en

Marco Teórico Referencial de la Investigación

particular las interacciones entre tales procesos, se conocen como enfoque basado en procesos [NC/ISO-9000, 2005].

El enfoque basado en procesos es un concepto que aparece en los años 90 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.

La Gestión de Procesos de Negocio (*Business Process Management*, BPM por sus siglas en inglés) permite, utilizando métodos, técnicas y software, diseñar, ejecutar, controlar y analizar procesos operacionales que involucran personas, organizaciones, aplicaciones, documentos y otras fuentes de información [van der Aalst et al., 2003]. También es conocida como una gestión integral que promueve la eficacia empresarial y la eficiencia mientras se esfuerza por innovación, flexibilidad, y la integración con la tecnología [Gao, 2013]. Además está creciendo como una disciplina, donde las nuevas tecnologías están emergiendo rápidamente, manteniendo el centro del escenario BPM en los dominios de negocio y tecnología.

El ciclo de vida de la Gestión de Procesos de Negocio abarca las siete fases de un proceso de negocio y los sistemas de información asociados al mismo (Figura. 1).

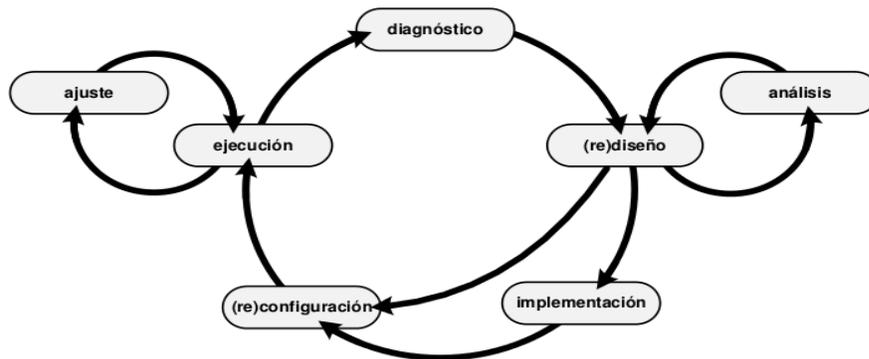


Figura. 4. Ciclo de vida de BPM. Fuente: [van der Aalst et al., 2012]

Primeramente se diseña un proceso, el cual es convertido en un sistema ejecutable en la fase de implementación. En la fase de (re)diseño se crea un nuevo modelo de proceso o se adapta un modelo de proceso existente. En la fase de análisis se analiza un modelo candidato y sus alternativas. Después de la fase de (re)diseño, se implementa el modelo (fase de implementación) o se (re)configura un sistema existente (fase de (re)configuración). En la fase de ejecución se ejecuta el modelo diseñado. Durante la

fase de ejecución el proceso es monitoreado. Además, se podrán realizar pequeños ajustes sin rediseñar el proceso (fase de ajuste). En la fase de diagnóstico se analiza el proceso ejecutado y la salida de esta fase podría iniciar una nueva fase de rediseño del proceso [van der Aalst et al., 2012].

1.2.3. Modelo de proceso

Antes de definir el modelado de procesos de negocio, el término "modelado" tiene que ser discutido en un contexto más general. Nordsieck ha hecho hincapié en que "la utilización de los símbolos permite al modelo no sólo reemplazar o complementar el lenguaje natural para la representación de asuntos complejos, sino también, mostrar la noción del objeto, a menudo de una manera más integral, como con cualquier otra forma de representación [Nordsieck, 1932]. Las características más protuberantes de un modelo son la brevedad, claridad, precisión, y su calidad gráfica [Nordsieck, 1932]. Stachowiak define un modelo como el resultado de una cartografía de la simplificación de la realidad que sirve a un propósito específico [Stachowiak, 1973]. De acuerdo con esta percepción, hay tres cualidades importantes que un modelo debe poseer.

En primer lugar, hay una asignación que establece una representación de los originales naturales o artificiales que pueden ser modelos por sí mismos. En segundo lugar, sólo los atributos del original que se consideran relevantes se asignan al modelo; el resto se omite. Por lo tanto, el modelo proporciona una abstracción en términos de un homomorfismo en un sentido matemático [Kühne, 2006]. En tercer lugar, el modelo es utilizado por el modelador en lugar del original en un cierto punto en el tiempo y para un fin determinado. Esto significa que un modelo siempre implica la pragmática.

A partir de un análisis documental y la propia experiencia en la materia tratada, el autor de la presente investigación, define y asume para la misma que un modelo de proceso es:

DEFINICIÓN 1.2.3 modelo de proceso: *es la representación de un esquema teórico simplificado a partir 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.*

1.2.4. Comprensión e interpretación de los modelos de procesos

La comprensión y correcta interpretación de los modelos de proceso, han sido tratadas en la literatura, como desafíos para el análisis del comportamiento de los mismos en sistemas informáticos. La comprensión del modelo del proceso (en términos

de precisión y eficiencia de la comprensión) es una función de las características del modelo y de las características del usuario que interpreta el modelo [Mending et al., 2012]. El diseño visual del modelo constituye un factor primordial para su análisis, Recker ha realizado investigaciones de cómo pueden ser diseñados los modelos de procesos para maximizar su comprensión [Recker et al., 2014].

Se han identificado factores que afectan el entendimiento del modelo de proceso tales como: propósito del modelo, notación de modelado, presentación visual, y complejidad del modelo de proceso. Adicionalmente, se han analizado características del modelo que afectan su comprensión, tales como el diseño de los constructores gramaticales, el resaltado de colores, la utilización de la modularización, y el estilo gramatical de las etiquetas de texto [Pérez, 2014]. La presente investigación asume el reto de facilitar la interpretación y comprensión de los modelos a generar a partir de las técnicas personalizadas, brindando interfaces intuitivas y enriquecidas de información auxiliar para el análisis.

1.3. Herramientas y tecnologías para el modelado de procesos

La literatura disponible cuenta con una importante gama de herramientas de representación de procesos, utilizadas en circunstancias donde el análisis del valor añadido, como instrumento de mejora, ha cobrado fuerza en el accionar de las empresas del mundo. Es posible obtener diferentes mapas en dependencia de las técnicas de representación utilizadas para elaborar modelos de procesos. Los enfoques para generar estos modelos pueden variar de acuerdo a diferentes atributos: nivel de detalle, uniones jerárquicas entre los mapas, tipos de flujos, estructura orgánica, colores, símbolos, operadores lógicos, tiempo de flujo y propósito del modelo.

1.3.1. Mapas de la cadena de valor

Los Mapas de la cadena de valor o *Value Stream Mapping* (VSM, por sus siglas en inglés) [Martin & Osterling, 2014] documentan procesos industriales que serán mejorados con los métodos de manufactura flexible (*Lean Manufacturing*), para eliminar despilfarros y actividades que no aportan valor a los procesos. 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.

1.3.2. Diagramas As-Is

Los diagramas As-Is se han ganado la popularidad en el mundo empresarial por su posibilidad de detallar en las actividades que ocurren en un proceso. Están presentes prácticamente en la mayoría de los métodos para la mejora de los procesos. Registra cómo el proceso actual opera, a través del flujo de trabajo o de información. Brinda mejor visibilidad y permite el análisis de cada actividad [Trischler, 2000].

1.3.3. Diagramas OPERIN

Los diagramas OPERIN son una representación gráfica de los pasos que se siguen en toda una secuencia de actividades, dentro de un proceso o un procedimiento, identificándolos mediante símbolos de acuerdo con su naturaleza; incluye, además, toda la información que se considera necesaria para el análisis, tal como distancias recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido [Urquiaga et al., 2010]. Estas se conocen bajo los términos de operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenajes. De igual manera que un plano o dibujo de taller presenta en conjunto detalles de diseño como ajustes tolerancia y especificaciones, todos los detalles de fabricación o administración se aprecian globalmente en un diagrama de operaciones de proceso.

1.3.4. Diagramas de Recorrido

Los Diagramas de Recorrido trazan 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. Cuando se desea mostrar el movimiento de más de un material o de una persona que interviene en el proceso en análisis sobre el mismo diagrama, cada uno puede ser identificado por líneas de diferentes colores o de diferentes trazos [Hernández-Nariño et al., 2010a].

1.3.5. Modelo de proceso de minería de procesos

Los modelos de procesos se obtienen a partir de la aplicación de uno de los tres tipos de minería de procesos. 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 [van der Aalst, 2011].

Existen tres tipos fundamentales de técnicas de minería de procesos: el Descubrimiento de procesos, la verificación o Chequeo de Conformidad y el Mejoramiento de procesos [van der Aalst, 2011a]. Las técnicas de descubrimiento

Marco Teórico Referencial de la Investigación

consisten en determinar, a partir de un registro de eventos, un modelo de proceso que represente el comportamiento real del mismo.

El segundo tipo de minería de procesos es el chequeo de conformidad, se basa en comparar las actividades del registro de eventos con las actividades en el modelo de proceso, con el objetivo de encontrar coincidencias o discrepancias entre el comportamiento modelado y el comportamiento observado. El chequeo de conformidad es relevante para la alineación de negocios y auditoría. Por ejemplo, para encontrar desviaciones indeseables que sugieren fraude o ineficiencias.

El tercer y último tipo de la minería de procesos es el mejoramiento o extensión, su idea central es mejorar o extender un modelo de proceso existente usando la información real del proceso, almacenada en algún registro de eventos.

1.3.6. Otras representaciones

Otros estilos, enfoques o tipos de diagramas para representar procesos son los Diagramas Bimanuales [Cuartas, 2012], Mapas de Proceso de senda (*swimlane*) [Murgameno, 2011], IDEF0 [Benachi et al., 2014], IDEF03 [Ferreira et al., 2015], ASME [Morales, 2014], Servucción [Jaramillo, 2014], Diagrama OTIDA [Flores, 2014], Diagrama de Hilos [Jones et al., 2014], Método de arriba-abajo [Roth et al., 2013], entre otros. La utilización de un enfoque u otro estará condicionado por los objetivos que se persigan, o sea, detallar en las tareas de un proceso, mostrar las áreas implicadas en el proceso o el nivel de jerarquía de este.

1.3.7. Análisis comparativo

Se ha realizado un análisis comparativo considerando las características deseadas, para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios. En la Tabla 1 se sintetizan las limitaciones y potencialidades de los métodos y tecnologías en cuestión.

Tabla 1. Características deseadas para el análisis de variabilidad.

| | FR | DE | DD | AS | AT | UC | BDR | VGP |
|--------------------------|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| Mapas de Cadena de valor | | X | | X | | X | X | |
| Diagramas AS-IS | | | | X | | | X | X |
| Diagramas OPERIN | | | X | | X | | X | X |
| Diagramas de recorrido | X | | X | | | X | | |
| minería de procesos | X | X | X | X | X | X | X | X |

Leyenda:

F: Frecuencia y Ruido

DE: Detectan eventualidades

Marco Teórico Referencial de la Investigación

DD: Detectan desviaciones

AS: Análisis de subprocesos

AT: Análisis de tiempo

UC: Complejo para su uso y comprensión

BDR: Basado en datos reales

VGP: Vista global del proceso

En la tabla 1 se aprecia que tres de las técnicas ofrecen una vista global del proceso. Adicionalmente, a excepción de los diagramas de recorrido las demás son consideradas complejas para su uso y comprensión. Solamente los Mapas de Cadena de Valor y la minería de procesos detectan eventualidades. La frecuencia de ejecución es uno de los elementos de mayor interés para la investigación y es característico por dos de las técnicas analizadas. El usuario debe poder decidir cuáles comportamientos deben ser considerados como ruido y descartados del modelo resultante, en este sentido solo la minería de procesos lo hace.

Los Diagramas OPERIN y la minería de procesos son capaces de realizar análisis de tiempo, a diferencia del resto. El análisis de subprocesos es una capacidad de tres de las técnicas, siendo una desventaja para los Diagramas OPERIN y los Diagramas de Recorrido. La tecnología más completa es la minería de procesos, con sus técnicas es capaz de cubrir todas las necesidades de análisis de la problemática, por lo que es seleccionada como propuesta de solución.

1.4. Minería de procesos

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 & Wolf, 1999](#)]. Desde entonces ha sido objeto de numerosas investigaciones, y por tanto, aplicada a la mayoría de las ramas de la sociedad: ingeniería, ciencias computacionales, educación, salud y el desarrollo de software.

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

Entre las perspectivas [[van der Aalst et al., 2011](#)] que incluyen la minería de procesos se destacan la referente al control de flujo, a los casos, al tiempo, entre otras. La perspectiva de control de flujo se enfoca en el orden de ejecución de las actividades, su

Marco Teórico Referencial de la Investigación

objetivo es encontrar una buena caracterización de todos los caminos posibles. La perspectiva de casos se enfoca en caracterizar los casos por su ruta en los procesos, los actores que trabajan en él o el valor de los datos de sus elementos. La perspectiva tiempo puede ser aplicada cuando se tiene información con relación al tiempo en el registro de eventos, permitiendo integrar al modelo las marcas de tiempo.

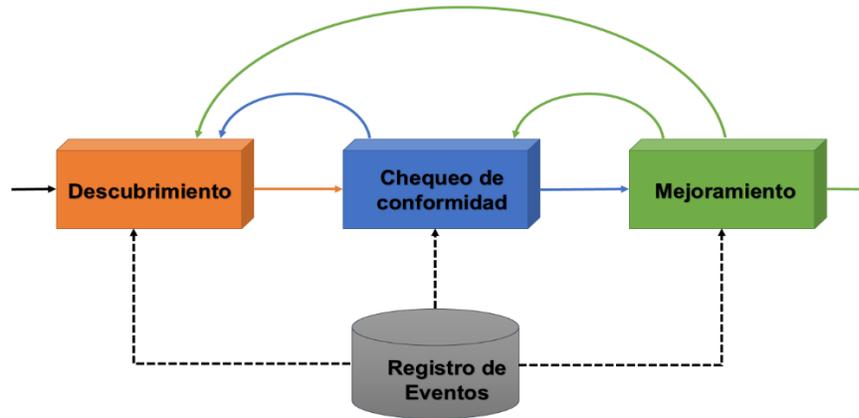


Figura. 5. Tipos de minería de procesos representados en flujo. Fuente: Adaptado de [van der Aalst, 2011].

1.4.1. Registro de eventos

La mayoría de los sistemas de información modernos utilizan mecanismos para registrar la ejecución real de los procesos, o sea, poseen un registro de trazas, el cual mediante transformaciones necesarias, es el punto de partida de la minería de procesos. Las técnicas de minería de procesos asumen que es posible registrar eventos secuencialmente [van der Aalst et al., 2011; Jans, 2011], donde cada proceso está compuesto por casos que no son más que instancias del mismo (Figura 6). Cada caso se compone de eventos que representan pasos bien definidos dentro del proceso; los casos contienen atributos o propiedades, donde los más usuales son la actividad que representan, la fecha y el usuario.

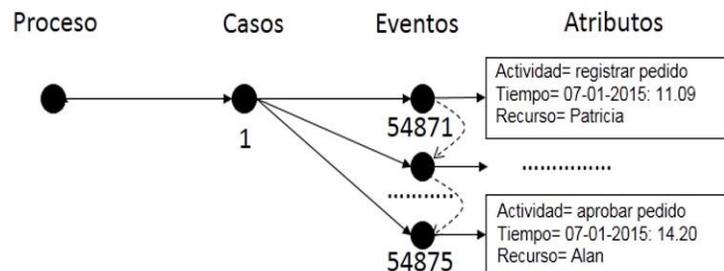


Figura. 6. Resumen de un registro de eventos. Fuente: Adaptado de [van der Aalst, 2011]

Marco Teórico Referencial de la Investigación

Los casos y cada evento en un registro utilizan un identificador mientras cada atributo de los eventos puede ayudar a extender el modelo con información extra. Dependiendo de la cantidad o tipo de información disponible será la perspectiva que se podrá asumir y la información que se podrá extraer.

El registro de eventos contiene un registro de elementos, como su raíz el cual contiene todas las trazas. Este registro de elementos también puede contener atributos. Como el registro de elementos solo se crea una vez, el impacto de incluir muchos atributos en el registro es mínimo [Buijs, 2010]. Por otra parte es de importancia incluir información relevante describiendo el contenido del registro de eventos y su origen. Los siguientes atributos son tomados en consideración para su adición en el registro de elementos:

- ✦ **Nombre de Proceso:** El nombre del proceso al cual el registro le graba su ejecución.
- ✦ **Fuente de Datos:** Una descripción del Sistema de Información del cual se extrae el registro de eventos.
- ✦ **Organización Fuente:** El nombre de la organización que provee los datos.
- ✦ **Descripción:** Una breve descripción del contenido del registro de eventos.
- ✦ **Versión:** Un identificador para diferenciar versiones de Registros de eventos.
- ✦ **Autor:** Nombre y detalles de contacto del que definió la conversión.
- ✦ **Proyecto de minería de procesos:** Una referencia del Proyecto de minería de procesos o el propósito del registro de eventos.

En la Figura 7 se expone un ejemplo de un registro de eventos donde se puede observar los identificadores y los atributos de los eventos.

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

Figura. 7. Ejemplo de un registro de eventos. Fuente: Elaboración propia.

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). XES es un estándar basado en experiencias prácticas de MXML, menos restrictivo y verdaderamente extensible. Su principal propósito es

ofrecer un formato de intercambio de registros de eventos entre herramientas y dominios de aplicaciones [[Günther, 2009a](#)].

1.4.2. Minería de procesos en el entorno hospitalario

Sin ninguna idea a priori, la minería de procesos busca en el interior del proceso y hace visible lo que realmente está sucediendo. Por ejemplo, es posible [[Orellana & Ledesma, 2015](#)]:

- ✦ Consultar los caminos de proceso que normalmente son seguidos por los pacientes al pasar por este.
- ✦ Ver las excepciones en el proceso.
- ✦ Identificar dónde están los cuellos de botella en el proceso.
- ✦ Comprobar si se siguen las pautas médicas.
- ✦ Ver qué personas / departamentos médicos están trabajando juntos con frecuencia.
- ✦ Comparar los procesos más allá de indicadores clave de rendimiento simplistas.

La información anterior es la clave de muchos procesos de mejora. Por ejemplo [[Orellana & Ledesma, 2015](#)]:

- ✦ Reducir los costos mediante la eliminación de innecesarias pruebas médicas o tratamientos.
- ✦ Reducir el tiempo total de tratamiento mediante la eliminación de los mayores cuellos de botella dentro de un proceso (por ejemplo, reducir el mayor tiempo medio de espera que existe para ciertos exámenes médicos, tratamientos o insumos).
- ✦ Estandarizar la forma de trabajar mediante la definición de una ruta de atención de cómo los pacientes que sufren de una enfermedad determinada deben ser diagnosticados y tratados.
- ✦ Menor complejidad del proceso mediante la reducción de la variabilidad innecesaria.

Existe poco más de una treintena de estudios hasta la fecha, en el entorno de la salud con el objetivo de dar respuesta a algunos de los elementos planteados anteriormente. Su aplicación [[Webster, 2011](#)] en las Historias Clínicas Electrónicas (EHR, por sus siglas en inglés) permitió mejorar los procesos de cuidado a pacientes. Tras descubrir horarios de mayor afluencia en el área de Emergencias [[Mans et al., 2008](#)], permitió controlar y destinar recursos a este sector hospitalario. También permitió detectar eventualidades

(tareas incompletas, información ausente, poca correspondencia entre el proceso de negocio y el sistema) en las actividades de proceso [Orellana et al., 2014].

Su aplicación en casos reales de Ginecología y Oncología [Mans et al., 2009] permitió optimizar, a partir de un gráfico de puntos, la trayectoria de los pacientes por el procesos de atención. La aplicación de la minería de procesos sobre sistemas hospitalarios permite monitorizar la utilización de los recursos, (i.e. los implementos quirúrgicos, los destinados a enfermería y los de consulta externa) Así mismo, permite monitorear el desempeño de los usuarios, reconocer patrones en el flujo del proceso, analizar casos aislados o infrecuentes, etc.

Su uso en otras esferas [Reijers et al., 2007] demuestra su efectividad para detectar funcionamientos anómalos (i.e. desviación de recursos), tiempos de ejecución de actividades en el proceso (i.e. exceso en el tiempo de estancia de un producto en el almacén o su ausencia, así como, las variaciones entre la realidad y lo prescrito). El análisis documental realizado sobre la aplicación de la minería de procesos, permitió identificar las herramientas y las técnicas más utilizadas.

1.4.3. Sistemas automatizados asociados a la minería de procesos

Después de realizar una búsqueda de sistemas automatizados para la obtención y análisis de modelos de procesos, tanto en el ámbito internacional como nacional se evidenció que ProM y Disco son los más difundidos. La primera, desarrollada por la Universidad Tecnológica de Eindhoven, mientras que la segunda fue desarrollada por la compañía Fluxicon. Existen otros sistemas desarrollados con fines comerciales, destacándose los creados para los sectores industrial y empresarial.

Herramientas Líderes

✦ ProM

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 [van der Aalst, 2011a; 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 [van der Aalst et al., 2009].

✦ Disco

Marco Teórico Referencial de la Investigación

Disco es una aplicación completa de minería de procesos desarrollada por Fluxicon en 2009 [Fluxicon, 2009], 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 Process Performance Manager (ARIS PPM) es una herramienta desarrollada por Software AG [ARIS Process Performance Manager, 2011], la cual permite a las empresas supervisar y analizar el rendimiento y la estructura de sus procesos empresariales. ARIS PPM optimiza continuamente los flujos de trabajo internos y externos, realizando de este modo una contribución crucial para el éxito de la empresa. Distintos departamentos también utilizan el software satisfactoriamente para supervisar acuerdos de nivel de servicio relacionados con procesos básicos, como por ejemplo el tratamiento de pedidos, el aprovisionamiento, el mantenimiento y la actualización, el transporte y la logística, el tratamiento de préstamos y las transacciones de valores en el sector financiero y la gestión de nuevas solicitudes y reclamaciones de seguros, entre otros.

✦ **Discovery Analyst**

Este 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.

✦ **QPR ProcessAnalyzer**

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 Oyj, 2011].

Marco Teórico Referencial de la Investigación

Esta herramienta es dirigida a responsables de los procesos, analistas de procesos de negocios, desarrolladores, consultores e incluso Administradores de sistemas, es una solución tanto para entornos empresariales como usuarios individuales.

1.5. Técnicas de minería de procesos para integrar al HIS

Se propone un conjunto de técnicas de minería de procesos para integrar la herramienta de análisis de variabilidad en procesos hospitalarios. Para ello se realizó un análisis documental de investigaciones de minería de procesos aplicada a la salud [Yang & Hwang, 2006; Mans, 2008; Van der Aalst, 2011; Rebuge & Ferreira, 2012; Mans, 2015], con el objetivo de identificar las áreas hospitalarias más favorecidas, los tipos de análisis que se realizan y sus resultados, además de las técnicas más aplicadas en estas investigaciones. Este estudio permitió establecer los criterios para la selección de técnicas de minería de procesos para el análisis de procesos hospitalarios.

Los análisis de procesos en instituciones sanitarias, han sido orientados a la frecuencia de ejecución, detección de fraudes, análisis de tiempo, detección de desviaciones, identificación de cuellos de botella, entre otros [Hernández-Nariño, 2010; Hernández-Nariño, 2014]. En la actual investigación estos elementos se proponen como criterios para la selección de las técnicas a desarrollar.

Tabla 2. Investigaciones de minería de procesos que aplican los criterios para el análisis de procesos.

| Criterios | Investigaciones de minería de procesos | | | | |
|---------------------------|--|------------|-------------|--------------|------------|
| | Yang 2006 | Mans, 2008 | Aalst, 2011 | Rebuge, 2012 | Mans, 2015 |
| Análisis de frecuencia | | | X | X | X |
| Análisis de subprocessos | X | X | | X | |
| Detección de desviaciones | X | | X | X | |
| Detección de fraudes | X | | X | | |
| Análisis de tiempo | | X | X | X | X |
| Cuellos de botella | | | | X | |
| Vista global del proceso | X | X | X | X | X |
| Comprensión | | X | X | X | X |
| Valores por defecto | | | X | | X |

En las investigaciones realizadas se evidencia como estos criterios son abordados desde la minería de procesos (ver Tabla 2) para obtener conocimientos de la ejecución de los procesos hospitalarios. Así mismo se incluyen dos criterios, la comprensión y los

Marco Teórico Referencial de la Investigación

valores por defectos de los parámetros de configuración, orientados a la usabilidad de las técnicas minería de procesos.

Una encuesta en línea desarrollada por el investigador Jan Claes en 2013 [Claes, 2013] solicitó a usuarios y expertos de la minería de procesos identificar cuáles son las técnicas que más utilizan para realizar análisis de procesos. Los resultados se resumen en la Figura 8.

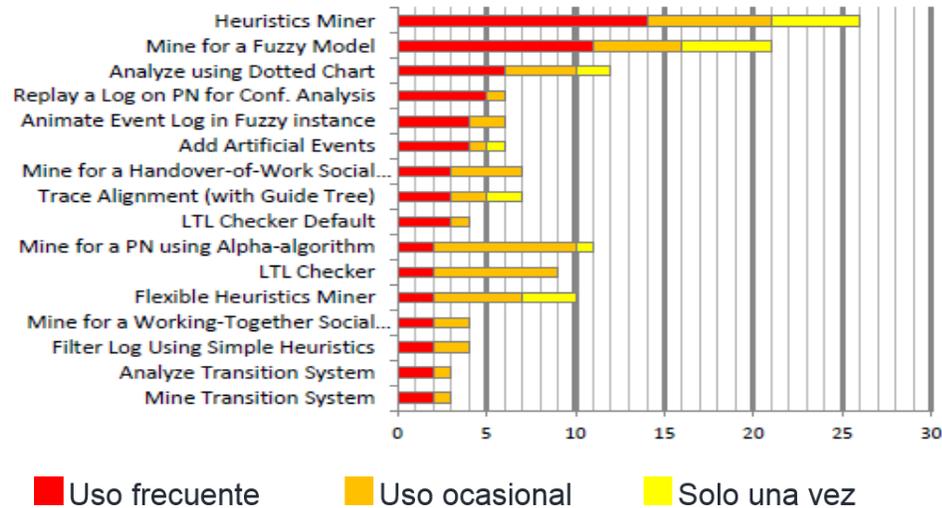


Figura 8. Técnicas de minería de procesos más utilizadas según usuarios y expertos. Fuente: [Claes, 2013].

Así mismo, se les pidió a los encuestados que indicaran cuáles técnicas según su experiencia son intuitivas, fáciles de entender, confiables, rápidas y si los valores predeterminados se pueden utilizar garantizando un buen resultado. Los resultados de esta pregunta se resumen en la Figura 9.

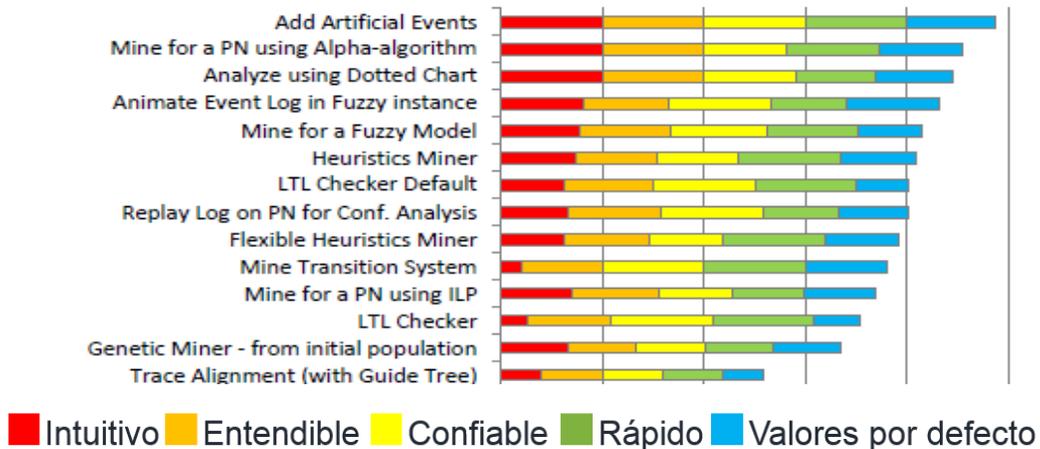


Figura 9. Técnicas de minería de procesos más usables y comprensibles según usuarios y expertos. Fuente: [Claes, 2013].

Marco Teórico Referencial de la Investigación

La Tabla 3 muestra cuatro técnicas seleccionadas a partir de los análisis anteriores y evaluadas con los criterios definidos.

Tabla 3. Técnicas de minería de procesos evaluadas con los criterios para el análisis de procesos hospitalarios.

| Criterios | Técnicas de minería de procesos | | | |
|---------------------------|---------------------------------|-------------|---------------------|----------------|
| | Heuristics Miner | Fuzzy Miner | Inductive visual M. | Variants Miner |
| Análisis de frecuencia | X | X | X | X |
| Análisis de subprocessos | X | X | X | X |
| Detección de desviaciones | | X | X | |
| Detección de fraudes | | X | X | |
| Análisis de tiempo | | X | X | X |
| Cuellos de botella | | | X | |
| Vista global del proceso | X | X | X | X |
| Comprensión | X | X | X | X |
| Valores por defecto | X | X | X | X |

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

1.5.1. Fuzzy Miner

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 denominados clústeres. Es capaz de detectar y manejar con éxito la presencia de ruido [van der Aalst & Gunther, 2007]. 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 del HIS, a partir de su registro de eventos. Definición de ruido para la presente investigación: “Comportamiento reflejado en las trazas y que rara vez ocurre, que es excepcional o poco frecuente, es decir, que no se corresponde con el comportamiento típico observado en el proceso” propuestas por Aalst [van der Aalst., 2011a].

1.5.2. Heuristic Miner

Aplica algoritmos basados en heurística (Heuristic-based algorithms): toman en cuenta las frecuencias de los eventos y de las secuencias, para la construcción del modelo del proceso. Estos algoritmos descubren casi todas las estructuras comunes de control (decisión, secuencia, lazos, paralelismo, etc.) y son robustos ante ruidos en el log de eventos. La Minería Heurística puede modelar un proceso con fitness 1 (Mide la capacidad de reproducir el registro de eventos), en otras palabras, es capaz de modelar el 100% de las trazas de ejecución del sistema. Se obtiene como resultado modelos precisos y comprensibles [Weijters, van der Aalst & De Medeiros, 2006].

Su propósito en la investigación es mostrar una vista global de los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. Los modelos de procesos que genera, sirven de base a administrativos y personal médico en cuanto a la correspondencia que existe entre la ejecución real de los procesos desde el sistema y la práctica.

1.5.3. Inductive visual Miner

Este tipo de representación jerárquica es muy intuitiva y permite determinar con mayor facilidad la existencia de lazos y actividades finales. Es una técnica que anima la ejecución de las trazas por las actividades que componen el modelo; esta información se utiliza para mostrar una vista previa animada del registro en el modelo. Esta visualización permite observar eventualidades en el proceso como la formación de cuellos de botella [Leemans et al., 2014].

Su propósito principal en la investigación es realizar análisis de tiempo sobre la ejecución de las instancias de proceso. Muestra las partes del modelo que se desvían con respecto al registro de eventos. Es útil para realizar análisis acerca de la ejecución de determinadas actividades en un periodo determinado de tiempo.

1.5.4. Variants Miner

Identifica los patrones de control de flujo: Secuencia, Lazo, Selección no Exclusiva, Selección Exclusiva y Paralelismo en un modelo de proceso. Posibilita la obtención de información relevante del proceso y la identificación de características del registro de eventos como es la presencia de ruido y la ausencia de información. La identificación de los patrones de control de flujo presentes en cada nivel de jerarquización posibilita el análisis del comportamiento presente en el registro de eventos y ubicarlo en el contexto de su ejecución [Pérez, 2014].

En la actual investigación permitirá realizar análisis de las variantes alternativas de los procesos, desde una perspectiva temporal, lo cual brindará criterios cualitativos y cuantitativos para la toma de decisiones clínico administrativas. Dicho análisis favorecerá al personal médico en la detección de anomalías, desviaciones y mal uso de los insumos y productos, verificar el correcto funcionamiento de los procesos internos de la institución y analizar los tiempos de ejecución de los subprocesos.

1.6. Conclusiones parciales

1. La especificación de los conceptos asociados al campo de acción permitió contextualizar los principales términos abordados en el capítulo y la investigación en general.
2. La minería de procesos permite analizar la ejecución real de los procesos en sistemas automatizados, lo que propicia identificar la variabilidad existente en procesos sanitarios desde sus sistemas
3. Las herramientas que existen actualmente con capacidades de minería de procesos son desarrolladas para dominios de aplicación definidos (sectores industrial y empresarial) por lo que su aplicación en entornos hospitalarios se dificulta.
4. Debido a que no es posible integrar al HIS herramientas para extraer registros de eventos es necesario el desarrollo de un componente para la extracción y transformación de las trazas de ejecución.
5. Las técnicas de minería de procesos al ser desarrolladas para el marco de trabajo ProM no son aptas para su uso por profesionales no expertos en esta tecnología, debido a la complejidad de sus métricas y configuraciones.
6. Para la integración de las técnicas de minería de procesos al XAVIA HIS es necesario su adaptación a las tecnologías empleadas en el desarrollo del sistema.

Capítulo Propuesta de Solución



En este capítulo se realiza una descripción de la propuesta de solución, considerando para ello, la explicación de los componentes de software que la integran y las relaciones que se establecen entre ellos. Las descripciones de los componentes están acompañadas de ejemplos que ilustran su funcionamiento y uso. Por último, se especifican los requerimientos funcionales que forman parte de la solución.

2.1. Descripción de la herramienta propuesta

La propuesta de solución consiste en la integración de las técnicas de minería de procesos definidas en el capítulo anterior al XAVIA HIS. La técnica Heuristics Miner propiciará una vista global del proceso que se analice, la técnica Fuzzy Miner obtendrá una vista de la frecuencia de ejecución del proceso y las desviaciones en su flujo de actividades. Por su parte, Inductive visual Miner propiciará realizar análisis de los tiempos de ejecución de las instancias de proceso y la formación de cuellos de botella. Por último Variants Miner mostrará las variantes alternativas del proceso.

Para ello es necesario adaptar estas técnicas a las tecnologías de desarrollo definidas para el sistema XAVIA HIS. El lenguaje de programación propuesto es Java, el Entorno Integrado de Desarrollo Eclipse 3.4.2, el marco de trabajo JBoss Seam 2.1.1 y para el mapeo de los datos se propone Hibernate 3.3. Las técnicas de minería de procesos utilizarán los datos almacenados en la base de datos del sistema para generar los modelos de proceso.

A partir de las investigaciones realizadas y las características que posee el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS, se propone el diseño de solución representado en la Figura 10, 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. Este diseño permitirá la integración no solo al HIS sino también a otros sistemas concebidos bajo la misma línea base de desarrollo.

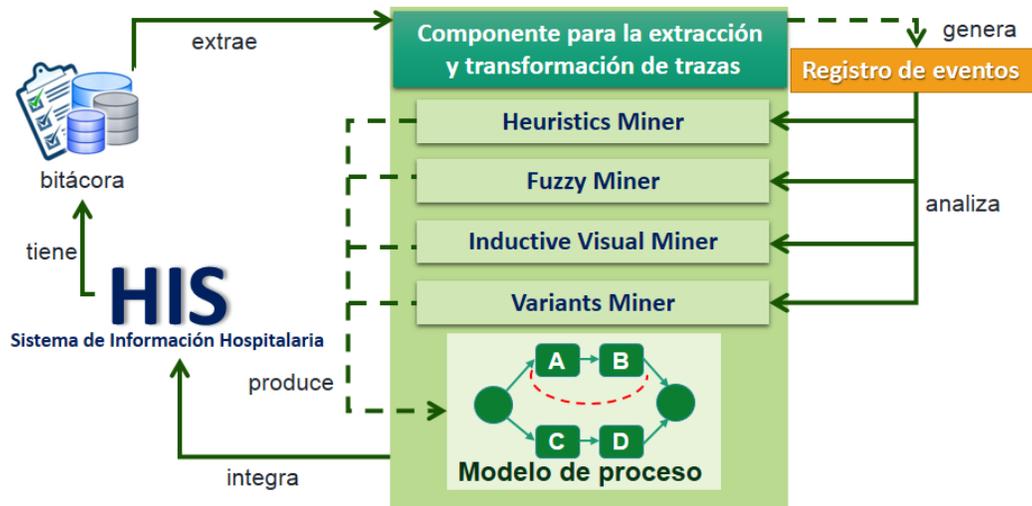


Figura. 10. Diseño conceptual de la herramienta para el análisis de variabilidad en procesos hospitalarios.
Fuente: Elaboración propia.

El HIS cuenta con un componente de extracción y transformación de trazas de procesos. Este componente se conecta a la base de datos, extrae la información de la ejecución de las actividades del HIS y con esta, genera el registro de eventos. El registro de evento es la fuente de datos de la herramienta de análisis compuesta por las personalizaciones de los complementos de ProM en el HIS. Luego, al aplicar las técnicas personalizadas se extraen conocimientos del registro de eventos para producir y visualizar el modelo de proceso desde el HIS. Por último, el modelo generado propicia el análisis de la ejecución del proceso seleccionado.

A continuación se presentan las técnicas minería de procesos y los componentes desarrollados que complementan la herramienta para el análisis de variabilidad en procesos hospitalarios.

2.2. Componente para la extracción y transformación de trazas

El HIS almacena sus trazas en la bitácora del sistema apoyado del motor de flujo jBPM, el cual de forma estructurada y secuencial registra las evidencias de las acciones y sucesos. El componente para la extracción y transformación de trazas se conecta a la bitácora para generar el registro de eventos [Orellana et al., 2015a]. De la tabla `jbpm_processdefiniton`, se extrae el identificador del proceso seleccionado y el atributo `name`. En la segunda tabla `jbpm_processinstance` se selecciona el identificador de las instancias de proceso perteneciente al proceso analizado.

En la tabla `jbpm_taskinstance` se selecciona el identificador de las instancias de las tareas realizadas por los usuarios y los atributos: `name_`, `actorid_` y `create_`. Para finalizar en la tabla `jbpm_pooledactor` solamente se utilizará el atributo `actorid_` que representa a los departamentos a los que pertenecen los usuarios que interactúan con la aplicación. El resultado de la ejecución inicial de este componente es un fichero XLog, el cual cumple con el estándar XES y constituye el punto de partida para el análisis de procesos.

El componente, además, permite configurar los parámetros para generar el registro de eventos, tales como Nombre de proceso y Rango de fecha (fecha inicial y final). Seguidamente se selecciona el Tipo de análisis donde se encuentran las opciones: Vista global del proceso, Análisis de frecuencia, Análisis de tiempo y Variantes alternativas del proceso, las cuales son las personalizaciones de técnicas de minería de procesos que conforman la herramienta. Por último, se genera y muestra un modelo de procesos.

Una vez desarrollado el componente para la extracción de registros de eventos, el HIS cuenta con las condiciones necesarias para la implementación de los componentes que permitirán detectar variabilidad en la ejecución de los procesos clínico administrativos desplegados en el sistema, utilizando como fuente de datos los registros obtenidos.

Con el uso y aplicación del componente desarrollado el usuario no necesita tener conocimiento sobre consultas de base de datos, estas son ejecutadas invisibles a su vista, 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.

2.3. Componente para obtener una vista global del proceso

2.3.1. Heuristics Miner

La característica más importante de la Heuristics Miner es la robustez ante el ruido y excepciones, debido a que se basa en la frecuencia de patrones es posible centrarse en el comportamiento principal en el registro de eventos.

- ✦ **Excepciones:** Patrones pocos frecuentes.
- ✦ **Ruido:** Cuando el registro de eventos contiene comportamiento raro e infrecuente no representativo para el comportamiento típico del proceso. (i.e. deformaciones por falta de uno o más eventos de la traza, eventos intercambiados o actividades de inicio o fin inexistentes).

La representación interna del modelo de proceso de la Heuristics Miner es llamada red heurística. Sin embargo, utilizando ProM es posible convertir la red heurística en una red

de Petri. Luego es posible aplicar varios complementos del ProM asociados con redes de Petri [Weijters & Ribeiro, 2011].

Algoritmo Heuristics Miner

El algoritmo Heuristics Miner, está basado en la construcción de un grafo de dependencias a partir de los distintos eventos que se producen dentro de una traza de ejecución. Este grado de dependencia, representará el flujo de trabajo inferido por el sistema. El algoritmo Heuristics Miner solo considera el orden de los eventos en la instancia.

2.3.2. Parámetros del complemento Heuristics Miner

El complemento Heuristics Miner del ProM posee un conjunto de parámetros definidos, para obtener sus modelos de proceso:

- ✦ *Relative-to best*: Umbral¹ que permite dibujar el arco entre dos actividades si la diferencia entre la medida de dependencia entre estas dos actividades y la "mejor" medida de dependencia en todo el modelo es menor que el valor especificado en el umbral, en caso contrario el arco no se dibuja en el modelo.
- ✦ *Dependency*: Umbral que permite mostrar los arcos en el modelo de proceso cuyo valor de dependencia entre las actividades que este conecta sea mayor o igual que el valor especificado en el umbral, en caso contrario el arco no se dibuja en el modelo.
- ✦ *Lenght-one loop*: Umbral que permite mostrar los arcos que conectan una actividad con ella misma si el valor de la dependencia del arco es mayor o igual que el valor del umbral. En caso contrario no se dibuja el arco en el modelo
- ✦ *Lenght-two loop*: Umbral que permite mostrar un bucle entre dos actividades a y b si la cantidad de veces que a es seguido directamente por b y luego ocurre a de nuevo está igual o por encima del valor especificado en el umbral.
- ✦ *Long distance*: Umbral que permite mostrar un arco entre dos actividades si el valor de la relación de dependencia de larga distancia entre estas actividades es mayor o igual al valor especificado en el umbral. Dos actividades a y b están en una "relación de larga distancia" si hay una dependencia entre ellos, pero no es una sucesión directa.
- ✦ *All tasks connected*: Heurística que en caso de estar activada se mostraran todas las actividades del modelo conectadas ignorando de esta forma los umbrales *Relative-to best* y *Dependency* en caso contrario si se toman en cuenta los umbrales mencionados.
- ✦ *Long distance dependency*: Heurística que permite decidir si tener en cuenta el umbral *Long distance* al modelar el proceso.

¹ Umbral: es la entrada, el principio, el comienzo o el primer paso de cualquier cosa o proceso.

- ✦ *Ignore loop dependency thresholds*: Heurística que decide si ignorar o no los umbrales Length-one loop y Length-two loop.

2.3.3. Visualización de los resultados

A partir de la necesidad de crear un componente intuitivo y fácil de utilizar para los analistas de procesos hospitalarios, garantizando así la correcta interacción con el sistema, se decide prescindir visualmente de todos los parámetros de entrada con que cuenta el complemento original, los cuales dificultan la comprensión y el entendimiento de los modelos generados por parte de los usuarios, por esto obtendrán un valor por defecto. El componente desarrollado cuenta con un conjunto de configuraciones que constituyen la base fundamental para la obtención de modelos de procesos precisos en el ámbito hospitalario. A continuación se presentan dichas configuraciones:

Medida de transición: Mide el comportamiento de la relación entre las actividades.

- ✦ **Dependencia:** Define cuan certera es la relación entre dos actividades. El valor de esta dependencia se acota de 0-1, cuanto más próximo a 1 indica seguridad en la relación de dependencia entre las actividades conectadas. Se muestra en el arco que une las actividades.
- ✦ **Frecuencia:** Número de veces que se repite un evento en el sistema en un intervalo de tiempo determinado.

Flujo principal: Muestra en color fuerte las actividades más frecuentes en el modelo.

Semántica: El lenguaje a utilizar en la representación gráfica de los modelos de procesos.

- 1) **Sin semántica:** Se representa el modelo de proceso en una red heurística, la cual muestra la frecuencia y dependencia entre las transiciones.

Red heurística: Los rectángulos son las tareas; los arcos indican la dependencia entre actividades. El número dentro de cada actividad indica la cantidad de veces que ha sido ejecutada (i.e. el registro de eventos contiene 497 ocurrencias en la actividad D de la Figura 11). El número de los arcos indica la frecuencia o dependencia entre las transiciones.

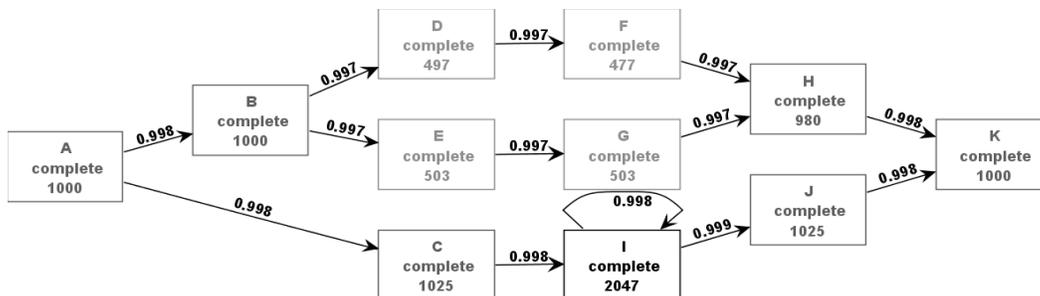


Figura. 11. Modelo de proceso, representado mediante red heurística. Fuente: [Weijters & Ribeiro, 2011].

- 2) **Con semántica:** Se representa el modelo mediante la notación BPMN, la cual proporciona diagramas de flujo detallados, con suficiente información como para poder analizar el proceso y simularlo.

Notación BPMN: El modelado en BPMN se realiza mediante diagramas muy simples con un conjunto muy pequeño de elementos gráficos. Con esto se busca que para los usuarios del negocio sea fácil entender el flujo y el proceso. Entre las categorías básicas del flujo de proceso se encuentran los elementos [van der Aalst, 2011]:

- ✦ **Eventos:** Están representados gráficamente por un círculo y describen algo que sucede.
- ✦ **Actividades:** Se representan por un rectángulo con sus vértices redondeados y describe el tipo de trabajo que será realizado.
- ✦ **Control de Flujo:** Se representan por una figura de diamante y determinan si se bifurcan o se combinan las rutas dependiendo de las condiciones expresadas.

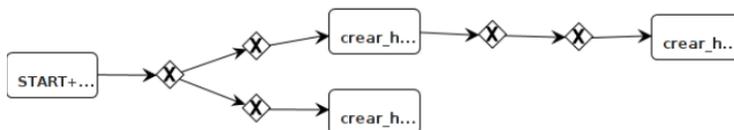


Figura. 12. Modelo de proceso, representado mediante la notación BPMN. Fuente: Elaboración propia.

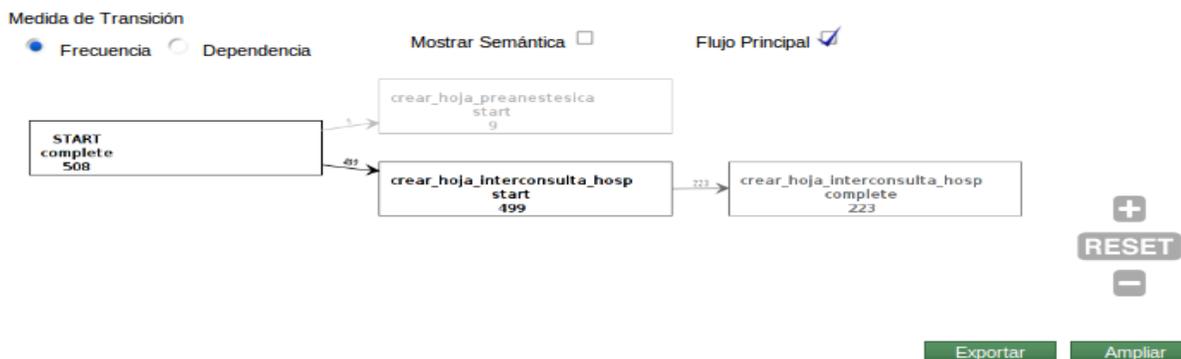


Figura. 13. Interfaz del modelo obtenido al aplicar Heuristics Miner. Fuente: Elaboración propia.

2.4. Componente para el análisis de Frecuencia

2.4.1. Fuzzy Miner

Según Günther [Günther, 2009] Fuzzy Miner está caracterizada por la presencia de dos tipos de nodos; nodos primitivos que se refieren a una tarea y nodos que se refieren a un conjunto de tareas o clúster (clúster, por su nombre en inglés), considerando que cada tarea

pertenece a un único nodo y es empleada en el diagnóstico del registro de eventos donde posibilita realizar análisis preliminares al descubrimiento.

Es una técnica de descubrimiento y su algoritmo es considerado una técnica de exploración de datos. Es aconsejable utilizar esta técnica cuando existan datos de registros complejos y no estructurados o cuando se quiere simplificar el modelo de una manera interactiva [van der Aalst & Günther, 2007]. Con su aplicación se obtiene un modelo basado en gráficos capaz de proporcionar una vista de alto nivel de un proceso, con la abstracción de los detalles no deseados.

2.4.2. Configuración de métricas

El complemento Fuzzy Miner de ProM cuenta con una serie de métricas configurables derivadas de las mediciones del mismo para generar los modelos. A continuación se resumen las configuraciones presentadas en tres artículos en particular [Process Mining Group, 2009; van der Aalst & Günther, 2007].

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: Esta 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: Esta 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.

Al igual que en el significado unario, la métrica de frecuencia es la más importante en el significado binario.

- ✦ Significado de distancia: Esta 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 que tan 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 *clúster* 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 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.

La configuración de métricas cuenta con una lista de parámetros configurables. Cada métrica tiene el mismo conjunto de opciones de configuración que le ayudan a optimizar las medidas respecto a su situación específica:

- ✦ **Peso:** Todas las métricas (significado unario, binario y correlación) tendrán un valor específico cuando se realice la minería. Por ejemplo, para enfatizar una métrica específica, se reduce el peso de todas las demás métricas.
- ✦ **Invertir:** Si esta casilla de verificación está activada, todas las mediciones de las métricas se invierten lo que significa que el nuevo valor será $(1 - \text{valor_original})$. Todos los valores recogidos por una métrica se normalizarán, tal que la medición más alta será igual a 1.0. Esto puede ser una herramienta muy útil si, por ejemplo, se desea que los eventos altamente frecuentes sean considerados menos importantes.
- ✦ **Activo:** Utiliza esta opción cuando se considera que una métrica específica no contribuye a mejores resultados, o sea incluso contra-productivo. Al establecer una

métrica en inactivo no mejorará el rendimiento; el complemento *Fuzzy Miner* está optimizado para ejecutarse en cualquier personalización de los ajustes.

2.4.3. Configuración de medición

El 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.

Configuración del punto de medida

En el área de configuración del punto de medida cuenta con un histograma que visualiza el número de puntos de medición por eventos (por ejemplo, el número de barras de histograma) y su factor de evaluación (altura de las barras). La *Maximal event distance* (distancia máxima de eventos) define el número de puntos de medida.

Atenuación

La atenuación más simple es la *Linear attenuation* (atenuación lineal), que garantizará la atenuación con la distancia de eventos. La atenuación *Nth root with 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](#)].

Según una investigación de Chamorro y Maturana [[Chamorro & Maturana, 2013](#)] como algunas herramientas (complementos) que tiene ProM permiten ser configuradas, por ejemplo Fuzzy Miner, recomiendan que de no conocerse cabalmente lo que implica cada una de las medidas y métricas, se usen las configuraciones por defecto, debido a que el modelo generado puede sufrir notorias variaciones al realizar modificaciones

En la personalización del complemento Fuzzy Miner para el HIS se necesita obtener toda la información posible a partir de los datos que se guardan, y 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 del modelo las que representan ruido según el criterio del usuario.

De los parámetros configurables de las métricas se personaliza el Peso y Activo. El Peso representará el valor que va a tener la métrica, su valor por defecto es uno. Con el Activo siempre se tiene presente el valor que contiene la métrica para generar el modelo. En las configuraciones de medición, el punto de medida tendrá un valor máximo de distancia de cuatro y la atenuación *Nth root with radical* con un valor de 2.74 por ser los mejores valores según [[Process Mining Group, 2009](#)] para tratar el ruido en un registro de eventos.

Al visualizar el modelo solo se muestran nodos primitivos, no se personaliza el clúster (actividades con baja frecuencia y alta correlación) por la necesidad de mostrar a los usuarios finales las actividades que tienen baja frecuencia. Ruido es comportamiento excepcional y según Aalst [van der Aalst, 2011] este tipo de comportamiento es denominado de baja frecuencia que difiere de la mayoría de las trazas.

Es válido mencionar que la definición de ruido puede estar en contraste en otros entornos. El término "ruido" se utiliza en ocasiones para referirse a eventos incorrectos, es decir, los errores que se registran a la hora de generar una traza, para esta investigación se refiere al comportamiento raro y poco frecuente "atípicos" en lugar de errores relacionados con el registro de eventos.

Filtros

Los filtros originales no se personalizan, el usuario final para hacer uso de ellos necesitará tener conocimientos de lo que significa cada uno, sin embargo, se crean dos filtros el "Frecuencia de actividades" y "Frecuencia de aristas", similar al filtro de Disco para el mismo tipo de análisis. El primero permite mostrar las actividades dependiendo del porcentaje que se quiera visualizar y responde al valor de las métricas unarias. Mientras que el segundo permite mostrar las relaciones de precedencia de dos actividades dependiendo del porcentaje que se quiera visualizar y responde a las métricas binarias y la correlación.

Vistas

La técnica Fuzzy Miner además del modelo que genera con las relaciones de las actividades, también genera otras vistas para observar cómo se comportan los valores, estas vistas representan las métricas unarias, binarias y las correlaciones. Estas vistas no se personalizan, para interpretar sus valores es necesario tener conocimientos de cómo se calcula cada una de las métricas y que significa cada valor. Para el desarrollo de la personalización se mantienen estos valores por defecto, considerando que las configuraciones generen un modelo útil y comprensible.

La clase FuzzyGraph.java crea el árbol con los valores de las métricas y DibujarGraph.java dibuja el modelo que será mostrado. La clase Analisis_Proceso.java es la controladora del componente para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios, aquí se crean las instancias de las clases involucradas para integrar el componente y modelar los procesos.

2.4.4. Visualización de los resultados

La Figura 14 muestra la interfaz de la personalización del técnica, al igual que el resto de las técnicas de ProM utiliza como entrada un registro de eventos y genera como salida

Herramienta para la Detección de Variabilidad en Procesos Hospitalarios

un modelo difuso en el que se representan dos tipos de actividades y tres tipos de aristas con diferentes grosor y color que las identifican según la frecuencia y la correlación respectivamente, las actividades en verde significan que son actividades de alta frecuencia, es decir, que se repite un gran número de veces en el registro y las actividades de color rojo son las de baja frecuencia, se repiten pocas veces dentro del registro de eventos.

Las tonalidades definen los valores de correlación, las aristas de color negro significan que la relación tiene una alta correlación, mientras que el gris oscuro define a la correlación media y el gris claro las relaciones de poca correlación. El grosor de las aristas determina la frecuencia de las relaciones, mayor grosor, mediano grosor y poco grosor. Independiente al grosor y tonalidad, las relaciones que tengan un valor inferior al del filtro "Frecuencia de aristas", resaltarán en color rojo en el modelo. Los valores utilizados para diferenciar entre tonalidad y grosor, son los definidos en el complemento Fuzzy Miner de ProM.

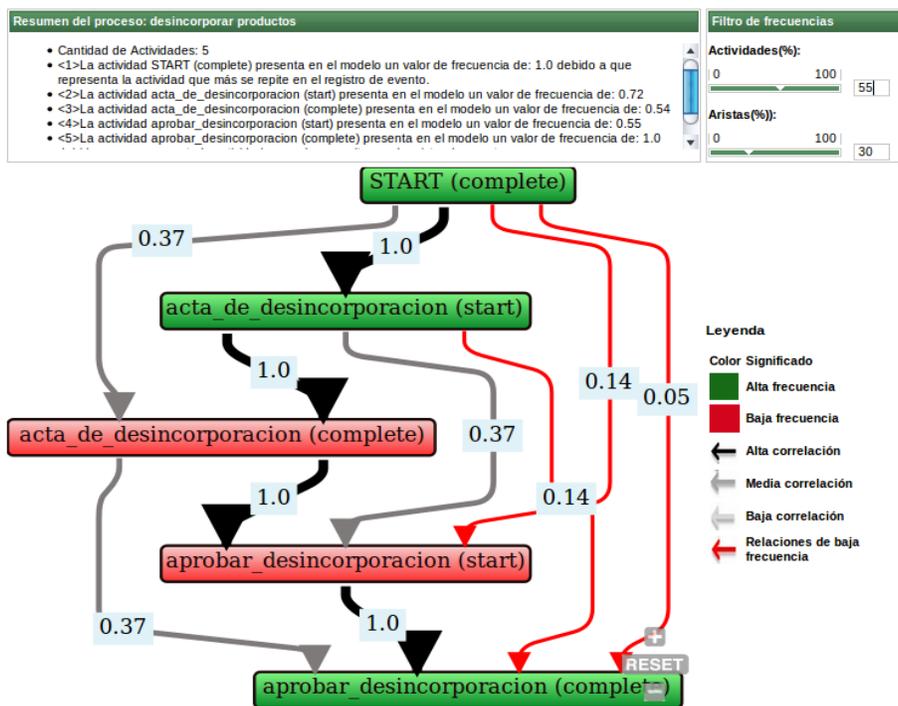


Figura. 14. Interfaz de la personalización de Fuzzy Miner en el HIS. Fuente: Elaboración propia.

En la interfaz, la parte superior izquierda contiene un resumen del proceso que se esté analizando que muestra en lenguaje natural el comportamiento reflejado en las actividades del modelo obtenido. 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.

En la parte central se muestra el modelo con la leyenda que provee una explicación de los elementos que intervienen en el mismo, los valores sobre los arcos representan la

frecuencia de la relación de las actividades y en la parte inferior se cuenta con la opción de exportar el modelo a formato **.png* para su posible análisis en otros entornos y conjuntamente posee la opción para ampliar el modelo que permite aislarlo a una nueva pestaña del navegador, estas opciones forman parte de los requisitos del componente que genera el registro de eventos.

La comprensión del modelo del proceso (en términos de precisión y eficiencia) es una función de las características del modelo y del usuario que lo interpreta. Se han identificado factores que ayudan en el entendimiento del modelo de proceso tales como: notación de modelado, presentación visual y complejidad del modelo de proceso. Adicionalmente, se han analizado características del modelo que enriquecen su comprensión con respecto al complemento Fuzzy Miner de ProM tales como el resaltado de colores y el estilo gramatical de las etiquetas de texto.

2.5. Componente para el análisis de tiempo

La personalización e integración del complemento IvM (Inductive visual Miner) a la herramienta de análisis ha sido desarrollada para analizar los tiempos de ejecución de las instancias de procesos a partir de registros de eventos del HIS.

2.5.1. Inductive visual Miner

La arquitectura del complemento Inductive visual Miner (IvM) se asemeja a una cadena de análisis y visualización de tareas, como se puede ver en la Figura 15. A continuación se describen cada una de ellas, además de los cambios que se le hicieron IvM en la realización de la personalización del mismo.

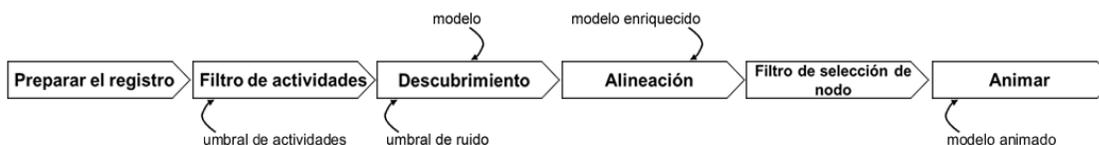


Figura. 15. Cadena de análisis de IvM. Fuente: Adaptado de: [Leemans et al., 2014].

El objetivo de la tarea *Preparar el registro* es extraer la información necesaria del registro de eventos para su posterior uso en las siguientes fases. A partir de esta información se obtienen la cantidad de actividades que componen el proceso, la cantidad de instancias en total que posee el mismo y la cantidad de instancias por cada camino de proceso diferente.

En la tarea *Filtro de actividades*, se establece un umbral que define la cantidad de actividades que se van a mostrar en el modelo. A partir de este umbral se realiza el filtro de las actividades, donde las actividades más frecuentes se mantienen, y los acontecimientos de otras actividades se filtran. Para facilitar el análisis del proceso que se modela, se definió

que el valor umbral antes mencionado tomará un valor por defecto y no sufrirá cambios en ninguna otra tarea del análisis.

En la tarea de *Descubrimiento* se aplica una extensión del algoritmo de descubrimiento Inductive Miner IM (algoritmo de descubrimiento de minería de procesos, el cual trabaja recursivamente y se basa en la técnica divide y vencerás) denominada Inductive Miner – infrequent (extensión del algoritmo IM, la cual se complementa con la adición de filtros de comportamientos poco frecuentes a todos los pasos de IM), y recibe como parámetro un umbral de ruido para a partir del registro de eventos, ya previamente generado en Xlog, producir un árbol de proceso². Se definió por defecto que el valor del umbral de ruido sería de un 20 por ciento, con el objetivo de hacer más fácil el procedimiento del modelado del proceso.

La tarea de *Alineación*, mediante el algoritmo Evolutionary Tree Miner [van Eck, 2013], alinea las trazas del registro de eventos para producir a partir del árbol de proceso, ya generado en el Descubrimiento, un mejor modelo de proceso en una notación inspirada en la BPMN, con el objetivo de facilitar el entendimiento del mismo. Esto es necesario en caso de desviaciones entre el modelo y el registro de eventos. A partir de la alineación, se enriquece el modelo con información de la frecuencia en que fueron ejecutados los elementos que componen el modelo, en el registro de eventos.

El *Filtro de selección de nodo* es la tarea que define los caminos que interrelacionan los nodos del modelo de proceso. Para esto se necesita un criterio de selección y se definió por defecto el de mantener solo los caminos por los que la cantidad de trazas que pasen por él, sea la mayor.

La tarea final, *Animar*, se encarga de realizar la animación de las instancias del proceso durante su trayectoria por los elementos que componen el modelo. En esta tarea lo primero que se realiza es la obtención del modelo en imagen vectorial³ (SVG), esto se lleva a cabo mediante la librería *Graphviz*.

Luego de obtener el modelo en SVG se realiza la animación de las instancias del proceso, a lo que se le añadió el cálculo de la media del tiempo de ejecución de las mismas,

² Árbol de proceso: Diagrama que muestra la evolución del proceso en el sistema.

³ Imagen vectorial: es una imagen digital compuesta de objetos geométricos independientes. Estos objetos pueden ser segmentos o polígonos y sus características están definidas por atributos matemáticos que indican su color, posición, entre otros.

para la búsqueda de la desviación cuadrática de este tiempo de ejecución. Este cálculo se realiza, a partir de las marcas de tiempo que contienen cada instancia de proceso. Después de realizado cálculo, se definen cuáles son las instancias que están por encima o por debajo de la media, con el objetivo de diferenciar en el modelo las instancias cuyo tiempo de ejecución se comporta con un carácter lento, rápido o normal. Si el registro de eventos no contiene marcas de tiempo, se insertan de manera aleatoria con fines de demostración, por lo que el cálculo de la desviación en este caso tampoco es real.

La fórmula de desviación cuadrática utilizada es $\sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{n}}$, donde x es el valor del tiempo de ejecución de la instancia, μ el valor de la media del tiempo y n es el número total de instancias de procesos. Esta fórmula se le añadió a la clase `AnimationSVG` del complemento, la cual realiza el cálculo, luego la clase `SVGTokens` convierte en imagen vectorial la información de cada una de las instancias del proceso para luego ser añadida al SVG del modelo de proceso.

2.5.2. Visualización de los resultados

Una vez que se genere el modelo de proceso, se aprecia encima del mismo tres opciones, las cuales hacen referencia al modelo de proceso que se desee analizar.

La primera opción se nombra *Caminos* e inicialmente se encuentra seleccionada. Esta opción genera el modelo conteniendo solo las actividades y los caminos que componen el proceso.

La segunda opción es nombrada *Desviaciones* y genera el modelo con las desviaciones que pueda presentar el proceso y las actividades involucradas. La tercera opción se nombra *Ambos* y visualiza en el modelo la combinación de las anteriores.

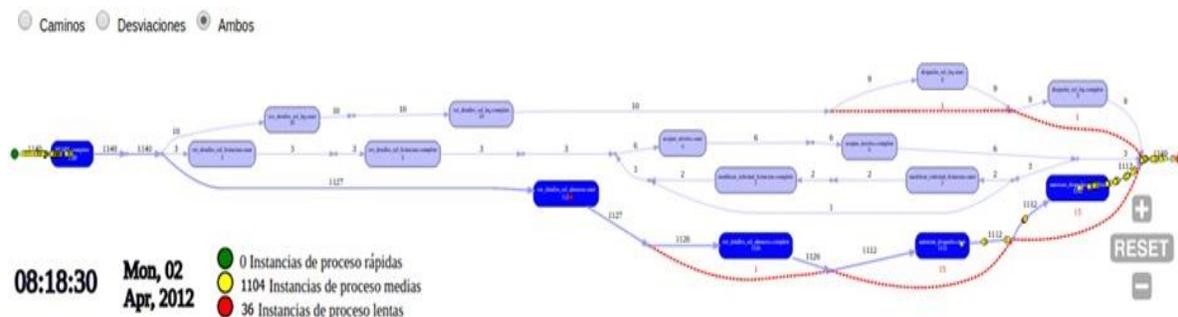


Figura. 16. Interfaz del componente para el análisis de eventualidades personalizando el complemento IVM en el HIS. Fuente: Elaboración propia

La animación del modelo consiste en el traslado de cada una de las instancias del proceso por el camino que une las actividades que componen la ejecución de las mismas. Estas toman forma de elipses y se representan en color amarillo, rojo o verde. Las elipses

color amarillo son aquellas instancias cuyo tiempo de ejecución no se desvía mucho con respecto al tiempo medio de ejecución. Mientras que las elipses de color verde, representan a las instancias que se ejecutan con una velocidad alta; y las elipses de color rojo denotan a las instancias que se ejecutan con una velocidad baja, con respecto al tiempo medio de ejecución de todas las instancias del proceso.

Las actividades más frecuentes del proceso pueden ser visualizadas con mayor facilidad debido a que las mismas se resaltan en color azul, mientras que las menos frecuentes toman color azul claro. Las desviaciones pueden ser observadas mediante líneas rojas discontinuas. Los cuellos de botella pueden apreciarse a partir del movimiento que realizan las elipses, lo cual se puede apreciar cuando se acumulen en una sola actividad y se trasladen hacia otra con una velocidad por debajo a la que entraron a la actividad anterior. Si se desea visualizar una actividad con más detalle, el modelo de proceso se puede ampliar en el área de la actividad que se desee detallar.

En el área de los resultados, también se configuran los controles de la animación del modelo de proceso, compuestos por el botón de reproducir y pausar la animación; además del control del tiempo, el cual permite adelantar o atrasar la animación. Así mismo, el modelo contiene una leyenda de la cantidad de instancias con tiempo de ejecución, alto, medio o bajo, además de la fecha y hora en las que se iniciaron cada una de las instancias. En caso que se desee obtener la información de una instancia de proceso, se procederá a pausar la animación y luego se selecciona la instancia.

2.6. Componente para el análisis de las variantes alternativas de proceso

2.6.1. Variants Miner

Variants Miner [Pérez, 2014] posee un enfoque diferente al de otras técnicas de minería de procesos, al proponer varias descomposiciones alternativas para el mismo subproceso, utilizando diferentes operadores de control de flujo. Esto permite controlar el impacto estructural del ruido y la ausencia de información en la construcción de las alternativas. Las alternativas se construyen al descartar o considerar comportamientos poco frecuentes que están contenidos en el registro de eventos. También en dicha construcción se asumen comportamientos ausentes del registro de eventos debido a situaciones de ausencia de información. Las diferentes alternativas de descomposición que pueden existir en cada subproceso son representadas como variantes de proceso

Variants Miner está conformado por las siguientes etapas, las cuales se ejecutan secuencialmente:

1. Pre-procesamiento del registro de eventos.
2. Extracción de comportamiento.
3. Búsqueda de variantes.

Existe una cuarta etapa [Pérez, 2014] que no es de interés para la presente investigación debido a que se encarga de recopilar los comportamientos considerados como ruido y ausencia de información durante la identificación de los patrones. El uso de la técnica se basa en mostrar las variantes alternativas del proceso, objetivo que se logra en la etapa tres.

El pre-procesamiento del registro de eventos tiene como objetivo preparar el registro para el diagnóstico de variantes. El algoritmo que se ejecuta en esta etapa realiza la codificación de los eventos presentes en el registro de eventos. Por su parte, la Extracción de comportamiento tiene como propósito la extracción de comportamientos representativos de los patrones de control de flujo, a partir del registro de eventos pre-procesado. En la última etapa se obtienen las variantes de descomposición del proceso para su representación en un árbol de variantes. Las variantes se obtienen a partir de la combinación de los comportamientos extraídos en la fase anterior y la asunción de ciertos comportamientos ausentes del registro de eventos.

2.6.2. Incorporación de la perspectiva temporal a Variants Miner

El componente aplicando la perspectiva temporal minería de procesos se desarrolla con el objetivo de obtener las métricas para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal, dichas métricas son: la duración mínima, media, máxima y total de cada una de las actividades del proceso que se está analizando.

- ✦ Duración total: se refiere a la suma de todos los tiempos de duración de las instancias de cada actividad de un proceso.
- ✦ Duración media: es el tiempo promedio en que se ejecutan las actividades de un proceso, la misma se realiza basándose en la siguiente fórmula de media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$$

Figura. 17. Fórmula de media aritmética. Fuente: Revista de Didáctica de las Matemáticas, 1995.

Una actividad dentro de un proceso puede ejecutarse una o varias veces, cada a_i representa el tiempo que dura la actividad en la aparición i y n el total de apariciones de dicha actividad.

- ✦ Duración mínima: del total de apariciones, la menor duración registrada de la actividad.
- ✦ Duración máxima: del total de apariciones, la mayor duración registrada de la actividad.

Para el desarrollo del componente, se crearon las clases *Analysis*, *TimeDifDate*, *Metriccs*.

- ✦ La clase *TimeDifDate* es una estructura donde se almacena la diferencia de tiempo entre el inicio y el fin de una actividad.
- ✦ La clase *Metriccs* representa una estructura para almacenar duración media, máxima, mínima y total de ejecución de las actividades en el registro de eventos.
- ✦ La clase *Analysis* es una clase controladora, que permite calcular la duración media, la duración máxima y la duración mínima de cada una de las actividades, haciendo uso de las clases *TimeDifDate* y *Metriccs*.

2.6.3. Visualización de los resultados

El sistema muestra los resultados al introducir en los parámetros requeridos la opción "análisis de tiempo" y se obtiene como salida un modelo de proceso, el cual es un modelo de variantes de procesos en forma de árbol. En este modelo los nodos hojas representan las actividades que conforman el proceso, cada actividad aparece con su duración mínima, media, máxima y total. Los nodos patrón, muestran el nombre del patrón de control de flujo utilizado para descomponer el subprocesso en la variante correspondiente, las aristas del árbol representan caminos dentro del proceso. El grosor de estas aristas depende de la frecuencia con la cual aparece en el registro de eventos el camino que representan y dicho grosor representa además las posibles desviaciones⁴, es decir mientras más finas sean las aristas, mayor existencia de desviaciones.

En el área también se muestra una leyenda especificando cada actividad del proceso, pues estas aparecen codificadas en el modelo, además en dicha leyenda se muestra la

⁴ Las desviaciones muestran precisamente las partes del modelo que se desvían con respecto al registro de eventos, son visualizadas para mostrar que partes del modelo se ajustan bien y que partes no lo hacen.

frecuencia⁵ de cada una de las actividades. El sistema muestra los patrones de control de flujo utilizados para la descomposición en subproceso y si se selecciona uno de dichos patrones, el sistema muestra una descripción de su significado. El sistema permite expandir, contraer y arrastrar el modelo.

La Figura 18 muestra el resultado de la ejecución de la personalización de la técnica desde el HIS.

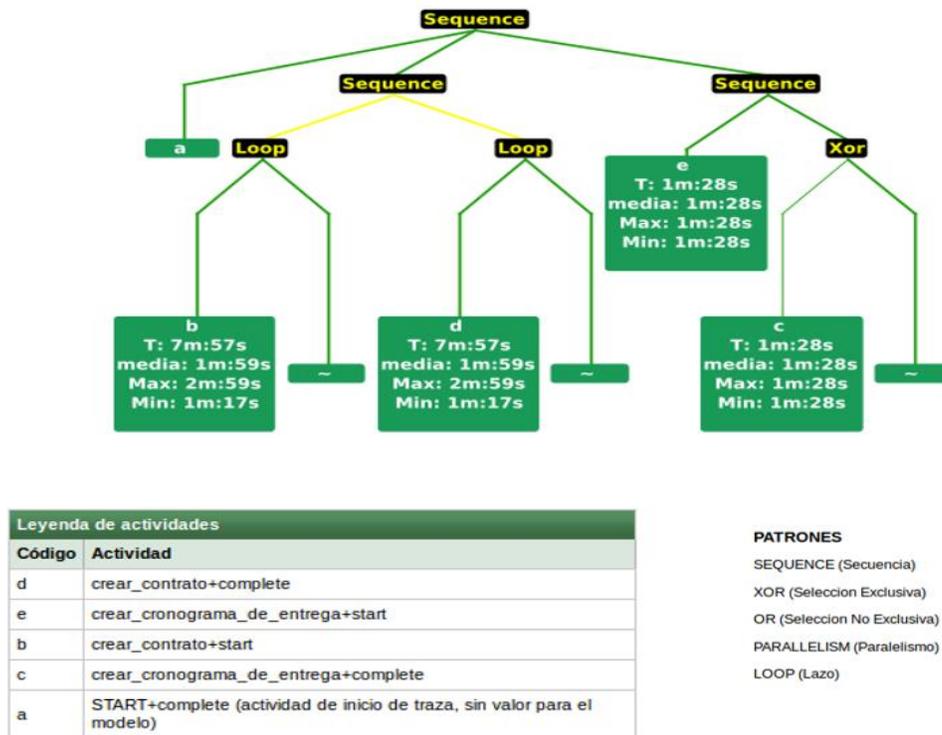


Figura. 18. Interfaz del componente de análisis de tiempo a partir de Variants Miner en el HIS. Fuente: Elaboración propia

2.7. Conclusiones parciales

1. En el desarrollo de la herramienta de detección de variabilidad fueron configuradas exitosamente las métricas y parámetros de las técnicas de minería de procesos personalizadas.
2. Las técnicas de minería de procesos pueden ser integradas al HIS del CESIM exitosamente.
3. Se logró contribuir a la visualización de los modelos generados, así como facilitar su uso para la detección de variabilidad en el entorno sanitario.

³La frecuencia: está dada por la cantidad de veces que se repite una actividad con respecto a todas las demás en un registro de eventos.

Validación de la propuesta de solución

Para el desarrollo de las pruebas como parte de la estrategia definida se decidió aplicar a nivel de herramienta el método de caja negra utilizando la técnica de partición de equivalencia. Se parte de los requisitos funcionales, para diseñar pruebas que se aplican sobre el sistema sin necesidad de conocer como está construido por dentro (Caja negra). Las pruebas se aplican sobre el sistema empleando un determinado conjunto de datos de entrada y observando las salidas que se producen para determinar si la función se está desempeñando correctamente por el sistema bajo prueba. Las herramientas básicas son observar la funcionalidad y contrastar con la especificación [Adán, 2011].

3.1. Pruebas de software

3.1.1. Pruebas funcionales

La gráfica correspondiente a la Figura 19 muestra los resultados obtenidos al realizar pruebas funcionales al 100 por ciento de las funcionalidades en la primera iteración, encontrándose las siguientes No Conformidades (NC), las cuales fueron resueltas en su totalidad:

- ✦ El sistema permitía seleccionar una fecha posterior a la fecha actual para generar un registro de eventos.
- ✦ La fecha inicial podía ser posterior a la fecha final para generar un registro de eventos.



Figura. 19. Pruebas funcionales. Fuente: Elaboración propia

Validación de la Propuesta de Solución

En la segunda iteración no se encontraron NC en el sistema, por lo que el componente desarrollado cumple con los requerimientos para los cuales fue concebido. El resultado final se resume en la Tabla 4.

Tabla 4. Resumen de las pruebas de software realizadas.

| Artefacto | Versión | Tipo de pruebas realizadas | Cantidad de iteraciones | Estado final |
|-----------|---------|----------------------------|--------------------------------|----------------------|
| Software | 1.0 | Pruebas funcionales | Dos iteraciones y Prueba Final | Sin no conformidades |

3.1.2. Pruebas de rendimiento

Para realizar una valoración del rendimiento de la herramienta para el análisis de variabilidad, es necesario definir entornos de prueba. El entorno de prueba definido está en correspondencia con la situación real del Sistema de Información Hospitalaria. Se tiene una computadora con procesador Intel(R) Core (TM) i3-2120M @ 2.20GHz de velocidad y 4 Gb de memoria RAM donde está instalada la herramienta y su servidor de bases de datos. La computadora tiene instalado el sistema operativo Windows 8.1. La herramienta se conecta a la base de datos y luego de introducir los parámetros para el modelado del proceso extrae el registro de eventos. Luego la técnica seleccionada usa como entrada este registro y devuelve un modelo de proceso.

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 un conjunto de situaciones de prueba para conocer el tiempo que se demora en actualizar la información, teniendo en cuenta diferentes valores del rango de fechas del registro a analizar y la técnica a emplear.

Tabla 5. Tiempos de respuesta (en segundos) de las técnicas personalizadas en la herramienta al analizar diferentes registros de eventos.

| | | Técnica de minería de procesos | | | |
|---|------------|--------------------------------|-------|-----------------|----------------|
| | | Fuzzy Miner | IvM | Heuristic Miner | Variants Miner |
| Rango de Fechas del Registro de eventos | 01/01/2011 | 2.5 s | 2.1 s | 2.3 s | 3.4 s |
| | 01/01/2012 | | | | |
| | 03/05/2011 | 1.6 s | 1.2s | 1.1 s | 2.3 s |
| | 01/06/2013 | | | | |
| | 06/02/2011 | 1.7 s | 1.6 s | 1.4 s | 2.4 s |
| | 08/05/2014 | | | | |
| | 01/01/2011 | 1.9 s | 1.9 s | 1.7 s | 2.7 s |
| | 25/05/2015 | | | | |

Validación de la Propuesta de Solución

La Figura 20 muestra los valores obtenidos en la Tabla 5, donde se constata que siempre que la herramienta se ejecuta por primera vez el tiempo es mayor que el resto. Estos valores se deben a que inicialmente la herramienta extrae y transforma un registro de eventos, luego lo modela. Al repetir el procedimiento especificando un nuevo rango de fechas, la herramienta mantuvo el hilo de proceso en ejecución esperando instrucciones, disminuyendo así el tiempo de procesamiento. Al aumentar el rango de fecha el tiempo de respuesta es proporcional a este. Los tiempos de respuestas son relativamente cortos, considerando que se aplican técnicas de minería de procesos y además se extraen y transforman los registros de eventos.

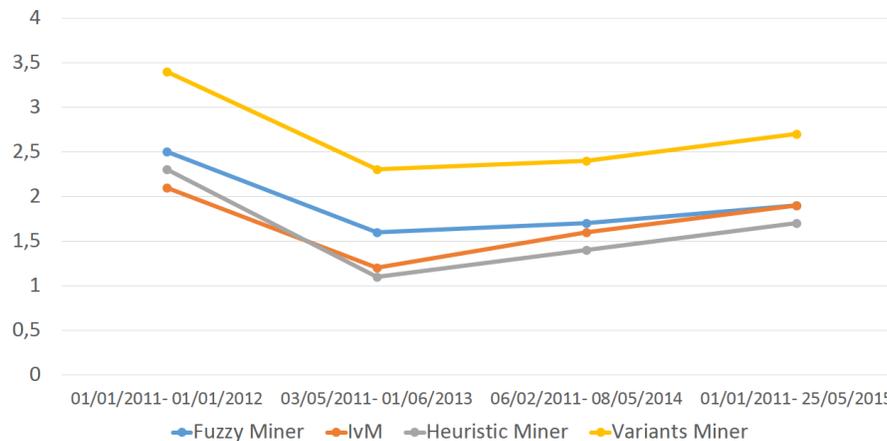


Figura. 20. Diagrama de tiempos de respuesta de las técnicas personalizadas en la herramienta dados en segundos. Fuente: Elaboración propia.

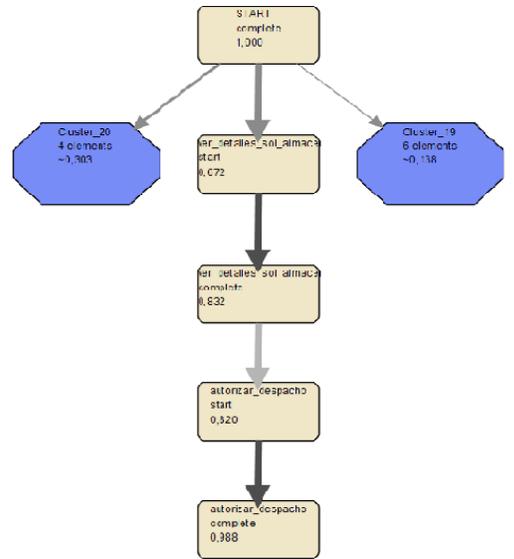
En este escenario es importante destacar que si se aumentan las prestaciones de hardware de la computadora, los tiempos de respuesta serían menores.

3.2. Herramienta para el análisis de variabilidad vs ProM

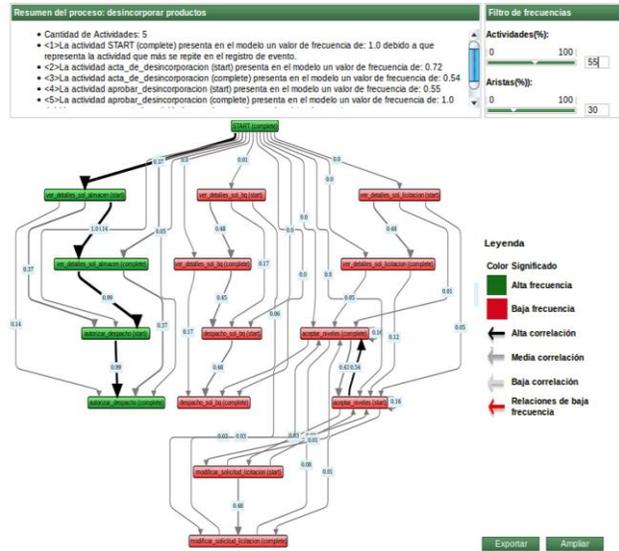
A continuación se presentan vistas de modelos de procesos desde la herramienta desarrollada y el marco de trabajo ProM, con el objetivo de mostrar las contribuciones realizadas a la visualización de los modelos, en aras de facilitar su uso para usuarios no expertos. Para generar los modelos se seleccionó el proceso Solicitar Productos del módulo Almacén del HIS. Se constató además que el registro de eventos del proceso contiene la misma cantidad de eventos y actividades, lo cual demuestra la efectividad del componente. Los elementos técnicos de la herramienta desarrollada se encuentran en el capítulo 2 de la investigación.

Validación de la Propuesta de Solución

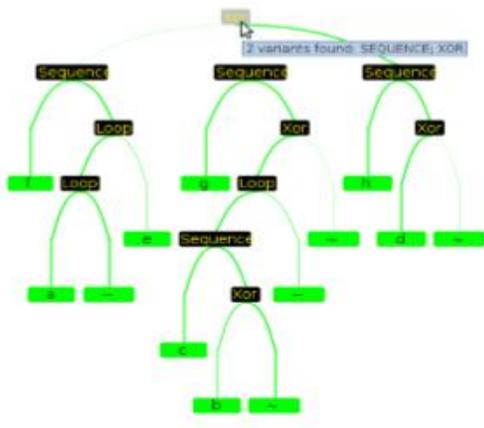
Fuzzy Miner de ProM



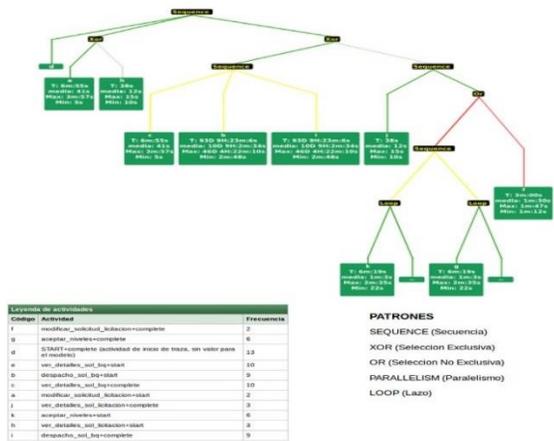
Fuzzy Miner: Herramienta para el análisis de variabilidad



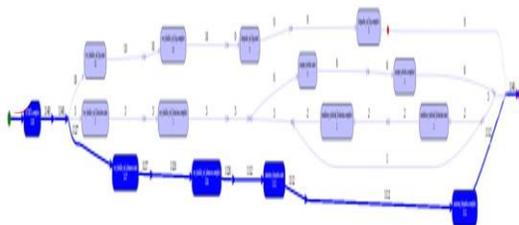
Variants Miner de ProM



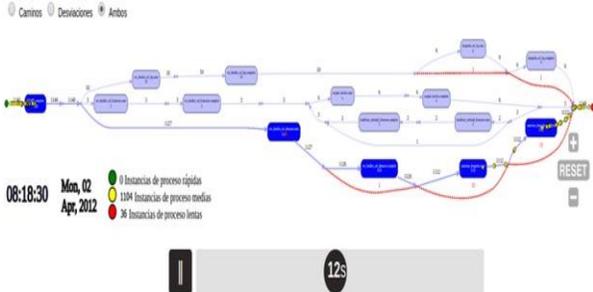
Variants Miner: Herramienta para el análisis de variabilidad



Inductive visual Miner de ProM



Inductive visual Miner: Herramienta para el análisis de variabilidad



Validación de la Propuesta de Solución

Se realizó una encuesta con el objetivo de conocer la satisfacción de los usuarios potenciales (ver Anexo 1) a 22 analistas de software del CESIM que interactuaron con la herramienta. Al analizar las respuestas a la pregunta tres se constató que un 45,4 por ciento de los encuestados consideran que la herramienta mejoró la usabilidad con respecto a ProM. En cuanto a la comprensión, un 45,4 por ciento considera que la herramienta mejoró en este aspecto con respecto a ProM. Dos encuestados señalaron que mejoró en ambos aspectos, sin embargo, sus respuestas no se consideran válidas debido a las restricciones en la pregunta realizada.

3.3. Análisis de procesos aplicando Inductive visual Miner personalizado

Se analizan los procesos *Solicitar Producto* y *Solicitar Interconsulta Hospitalaria*, pertenecientes a los módulos Almacén y Hospitalización del HIS respectivamente; en espera de que surjan eventualidades en la ejecución de los mismos. Se definieron los procesos de estos dos módulos del HIS debido a que acumulan la mayor cantidad de trazas almacenadas hasta la fecha.

3.3.1. Análisis de desviaciones

En la bibliografía consultada se evidencia la existencia de dos tipos de desviaciones en los procesos: cuando una instancia del proceso contiene un evento que no está permitido por el modelo es un movimiento del registro y si el modelo requiere una actividad que no está presente en la instancia del proceso entonces es un movimiento del modelo [Leemans et al., 2014].

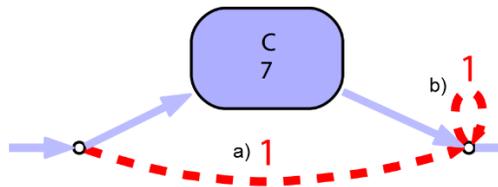


Figura. 21. Desviación de un proceso, a) movimiento del modelo, b) movimiento del registro. Fuente: [Leemans et al., 2014]

El análisis de desviaciones pretende verificar si en los modelos generados con la personalización del complemento IvM es posible observar las desviaciones de los procesos que se analizan.

Proceso Solicitar Producto

Para detectar las desviaciones en el proceso *Solicitar Producto* se modeló el mismo entre las fechas 01/01/2011 y 01/01/2015, se observa en el modelo (ver Anexo 2) la existencia de desviaciones en este proceso.

Validación de la Propuesta de Solución

Las desviaciones que se manifiestan en el modelo generado son de tipo movimiento en el modelo y son ocasionadas por falta de información en el registro de eventos. Esto sucede debido a que en el camino en que ocurre la desviación existen actividades que no se ejecutaron cuando debieron haberlo hecho, lo cual constituye una violación en la ejecución del proceso.

Como se observa en la Anexo 3, el camino compuesto por las actividades *ver_detalle_sol_almacen* y *autorizar_despacho* sufre dos desviaciones. La desviación a) ocurre debido a que la actividad *ver_detalle_sol_almacen* en una ocasión se inició pero no se completó. Mientras que la desviación b) ocurre debido a que la actividad *autorizar_despacho* se ejecutó 1112 ocasiones, cuando debió haberse ejecutado 1127 veces, o sea, existen 15 instancias que no contienen esta actividad, Estas instancias debían haberse trasladado por esta actividad, pero se desvían trasladándose directamente hacia el final del proceso.

Otro de los caminos que sufre desviación es el que está compuesto por las actividades *ver_detalle_sol_bq* y *despacho_sol_bq*. Como se observa en la Anexo 4, existe una instancia de proceso que en su ejecución no está registrada la actividad *despacho_sol_bq*, esto quiere decir que la actividad se ejecutó nueve veces de diez que debió haberse ejecutado.

El análisis de las desviaciones del proceso *Solicitar Producto* en el período de tiempo de 01/01/2011 a 01/01/2015 demuestra que el camino que más desviaciones presenta es *ver_detalle_sol_almacen-autorizar_despacho*. En la Tabla 6 se puede apreciar el número de desviaciones por cada camino.

Tabla 6. Caminos del proceso *Solicitar producto* con el número de desviaciones correspondiente a cada uno, entre las fechas 01/01/2011 y 01/01/2015. Fuente: Elaboración propia.

| Camino | Instancias desviadas | Total de instancias |
|--|----------------------|---------------------|
| [<i>ver_detalle_sol_almacen-autorizar_despacho</i>] | 15 | 1127 |
| [<i>ver_detalle_sol_bq-despacho_sol_bq</i>] | 1 | 10 |
| [<i>ver_detalle_sol_licitacion-modificar_solicitud_licitacion-aceptar_niveles</i>] | 0 | 3 |

Proceso Solicitar Interconsulta Hospitalaria

El proceso Solicitar Interconsulta Hospitalaria se analiza entre las fechas 01/01/2011 y 01/01/2015, en este período, el proceso no presentó desviaciones.

Validación de la Propuesta de Solución

3.3.2. Análisis de cuellos de botella

En espera de ocurrencia de cuellos de botella se definieron dos intervalos de tiempo para realizar el análisis a los procesos definidos. En los modelos de procesos obtenidos no se puede presenciar a simple vista los cuellos de botella, debido a que ninguna de las actividades que los componen presentó acumulación de instancias.

3.3.3. Análisis de frecuencia

El objetivo del análisis de frecuencia es analizar la frecuencia de ocurrencia de las actividades que componen los procesos seleccionados. Para esto se definió un rango de fecha, con el fin de identificar las actividades que se ejecutaron con mayor y menor frecuencia.

Proceso Solicitar Producto

El proceso Solicitar producto se analiza entre las fechas 01/01/2011 y 01/01/2015, en este rango, el proceso fue ejecutado 1140 veces, o sea, el registro de eventos contiene 1140 instancias de procesos. De ellas 1104 se ejecutaron con una velocidad media, mientras que 36 de ellas lo hicieron con una velocidad baja, con respecto al tiempo medio de ejecución de todas las instancias del proceso y ninguna lo hizo con una velocidad alta. En el Anexo 5 se puede apreciar el modelo correspondiente a este proceso en el rango de fecha que se analiza, con la opción *Caminos*.

Las actividades más frecuentes son *ver_detalle_sol_almacen* y *autorizar_despacho*, con una cantidad de instancias de 1127 y 1112 respectivamente. La Tabla 7 describe el número de ocasiones en que fueron ejecutadas cada una de las actividades que componen este proceso.

Tabla 7. Cantidad de instancias por actividades del proceso *Solicitar producto* en el rango de fecha 01/01/2011 - 01/01/2015. Fuente: Elaboración propia.

| Actividades | Cantidad de instancias |
|---------------------------------------|------------------------|
| <i>ver_detalle_sol_almacen</i> | 1127 |
| <i>autorizar_despacho</i> | 1012 |
| <i>aceptar_niveles</i> | 48 |
| <i>ver_detalle_sol_bq</i> | 10 |
| <i>despacho_sol_bq</i> | 9 |
| <i>modificar_solicitud_licitacion</i> | 4 |
| <i>ver_detalle_sol_licitacion</i> | 3 |

Validación de la Propuesta de Solución

El camino más frecuente es *ver_detalles_sol_almacen - autorizar_despacho*, específicamente 1127 instancias entran por ese camino y 1112 se trasladan hacia el final del mismo.

Proceso Solicitar Interconsulta Hospitalaria

El proceso *Solicitar Interconsulta Hospitalaria* se analiza entre las fechas 01/01/2011 y 01/01/2015, en este período de tiempo el registro de eventos contiene 223 instancias del proceso. El número de instancias que se ejecutan con una velocidad media es de 213, mientras que 10 lo hacen con una velocidad baja y ninguna lo hizo con una velocidad alta, con respecto al tiempo medio de ejecución de todas las instancias del proceso.

En el período de tiempo que se analiza, el camino más frecuente es una sola actividad, como se observa en el Anexo 6, la actividad más frecuente es *crear_hoja_interconculta_hosp* con 223 instancias de proceso, esta es la única actividad que compone el proceso en la opción *Caminos*.

3.4. Análisis de procesos aplicando Fuzzy Miner personalizado

3.4.1. Análisis de ruido en aristas

Para la prueba se utilizó el proceso Desincorporar producto del módulo almacén del HIS que cuenta con cinco actividades diferentes con un total de 16 ocurrencias. El registro de eventos recopila seis ejecuciones del proceso en las fechas comprendida entre el primero de mayo del 2011 y el 12 de abril del 2015.

Se establece como valor del Filtro de Frecuencia de aristas un 30 por ciento (para el ejemplo) con el objetivo de validar la interpretación de ruido en las aristas. Se realizó un análisis manual de las relaciones entre actividades y luego se comparó con los resultados del modelo generado con la personalización del complemento Fuzzy Miner como se muestra en la Tabla 8, arrojando como resultado que las relaciones entre las actividades detectadas con valor inferior al del Filtro de aristas son destacadas en el modelo resultante en color rojo (ver Figura 22).

Tabla 8. Interpretación de frecuencia en aristas del proceso "Desincorporar Producto" del HIS. Fuente: Elaboración propia.

| Actividades | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | Total (ruido) | HIS |
|-------------|-----|------|------|------|------|---------------|-----|
| (1) | | 0.23 | 0.62 | | | 1 | 1 |
| (2) | | 0.17 | 0.47 | 0.62 | 0.23 | 2 | 2 |
| (3) | | 1.0 | 0.17 | 0.23 | 0.07 | 3 | 3 |
| (4) | | | | | | 0 | 0 |
| (5) | | | | | | 0 | 0 |

Validación de la Propuesta de Solución

Leyenda de actividades

- (1): START (complete).
- (2): acta_de_desincorporacion (complete).
- (3): acta_de_desincorporacion (start).
- (4): aprobar_desincorporacion (start).
- (5): aprobar_desincorporacion (complete).

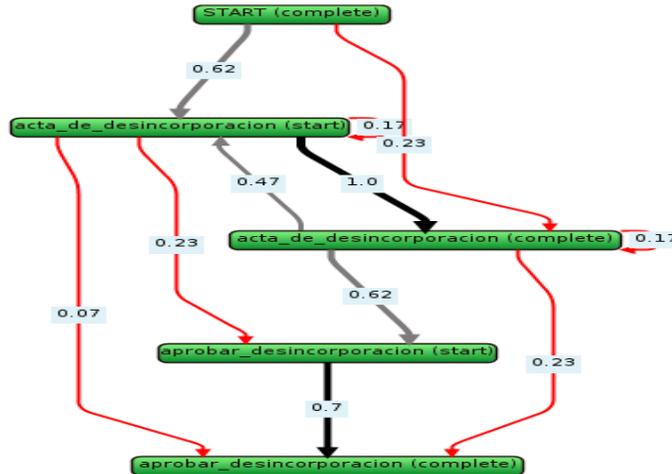


Figura. 22. Interfaz del HIS de aristas con ruido en el proceso desincorporar producto. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Análisis de actividades de baja frecuencia

En la Tabla 9 se presentan análisis de seis procesos como resumen de las pruebas realizadas. Para generar sus respectivos modelos se estableció un valor de frecuencia en el componente desarrollado y conociendo a partir de un análisis empírico las actividades con valor de frecuencia inferior al establecido, se constató que las mismas son identificadas en el modelo con el color rojo.

Tabla 9. Interpretación de la presencia de ruido con datos obtenidos por el complemento Fuzzy Miner desde el HIS. Fuente: Elaboración propia.

| Procesos del HIS | Fechas (registro de eventos) | Valor de frecuencia (VF) | Análisis empírico (actividades con valor inferior al VF) | HIS (actividades con valor inferior al VF) |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------|---|---|
| Distribuir producto | 2011-05-01 / 2015-05-01 | 80% | Autorizar_despacho(start):0.73 | Autorizar_despacho(start) |
| Desincorporar productos | 2011-03-01 / 2015-05-01 | 42% | Acta_de_desincorporacion(complete):0.35 Aprobar_desincorporacion(start):0.27 | Acta_de_desincorporacion (complete) Aprobar_desincorporacion (start) |

Validación de la Propuesta de Solución

| | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------|-----|--|--|
| Procesar solicitudes | 2012-01-01 /2015-04-01 | 85% | crear_contrato(start):0.23 crear_contrato(complete):0.48 crear_cronograma_de_entrega(start):0.71 crear_cronograma_de_entrega(complete):0.68 | crear_contrato(start) crear_contrato(complete) crear_cronograma_de_entrega(start) crear_cronograma_de_entrega(complete) |
| Transferencia hospitalaria | 2011-10-05 /2015-11-01 | 75% | Procesar_transferencia_hospitalaria(start): 0.71 | Procesar_transferencia_hospitalaria(start) |
| Interconsultas | 2008-01-03 /2015-10-01 | 45% | 0 | 0 |
| Solicitud interconsulta hospitalaria | 2011-02-01 /2015-05-05 | 70% | Crear_hoja_interconsulta_hospitalaria(start): 0.48 Crear_hoja_preanestesica(start): 0.53 | Crear_hoja_interconsulta_hospitalaria(start) Crear_hoja_preanestesica(start) |

Ejemplo de actividades de baja frecuencia en el proceso “Solicitar productos” con Fuzzy Miner desde el HIS

Para medir la importancia de las actividades se establece como valor del Filtro de Frecuencia de actividades un 30 por ciento (ver Figura 23). En un análisis manual se detectan las siguientes actividades con frecuencia por debajo al valor definido: aceptar_niveles (complete):0.06, aceptar_niveles (start):0.06, ver_detalle_sol_bq (start):0.27; ver_detalle_sol_licitacion (start):0.26, modificar_solicitud_licitacion (start):0.17, modificar_solicitud_licitacion (complete):0.17 estas deben ser las actividades que se visualicen en color rojo en el modelo.

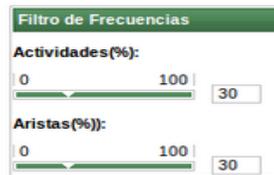


Figura. 23. Interfaz del HIS para la configuración del valor frecuencia de actividades. Fuente: Elaboración propia.

Con el valor de frecuencia establecido en la Figura 23 el modelo representado en la Figura 24 muestra como actividades de baja frecuencia, las señaladas anteriormente, por tanto se considera que la técnica cumple con el objetivo de destacar en el modelo las actividades que el usuario considera como ruido.

Validación de la Propuesta de Solución

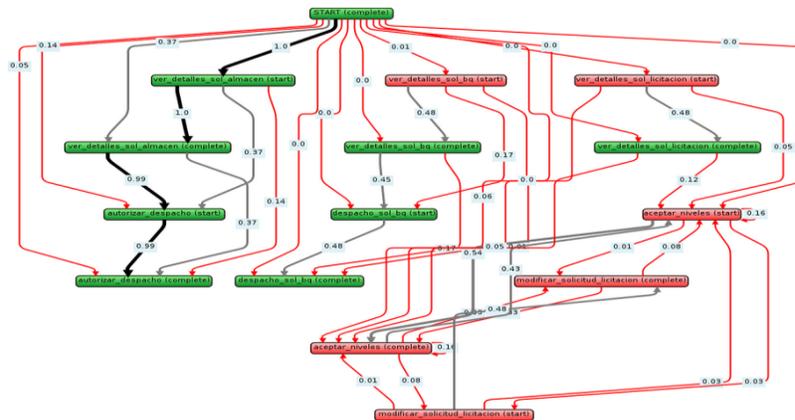
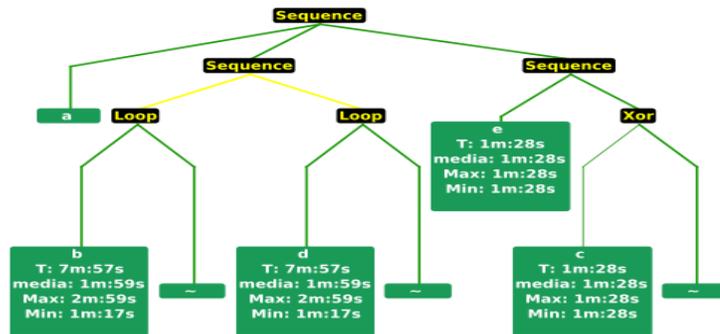


Figura. 24. Interfaz de actividades con frecuencia menor a 30 por ciento. Fuente: Elaboración propia.

3.5. Análisis de procesos aplicando Variants Miner personalizado

Para demostrar la utilidad del componente en el sistema se ha aplicado el mismo, a un registro de eventos que corresponde proceso Procesar Solicitudes del módulo Almacén del HIS. El registro de eventos se compone por tres ejecuciones comprendidas entre las fechas 10/05/2011 y 31/05/2012. Dicho proceso cuenta con cinco actividades, con un total de 15 ocurrencias.



| Leyenda de actividades | |
|------------------------|---|
| Código | Actividad |
| d | crear_contrato+complete |
| e | crear_cronograma_de_entrega+start |
| b | crear_contrato+start |
| c | crear_cronograma_de_entrega+complete |
| a | START+complete (actividad de inicio de traza, sin valor para el modelo) |

Figura. 25. Modelo del proceso Procesar Solicitudes. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el modelo de la Figura 25, el primer nivel de abstracción del árbol lo constituye el patrón de control de flujo Secuencia, lo que significa que los subprocesos crear_contrato y crear_cronograma_de_entrega, se ejecutarán uno seguido del otro.

Seguidamente se realiza el análisis de los subprocesos identificados correspondientes al segundo nivel de abstracción.

Validación de la Propuesta de Solución

Subproceso crear_cronograma_de_entrega

La descomposición obtenida para este subproceso y la codificación de sus actividades se muestran en la Figura 26.

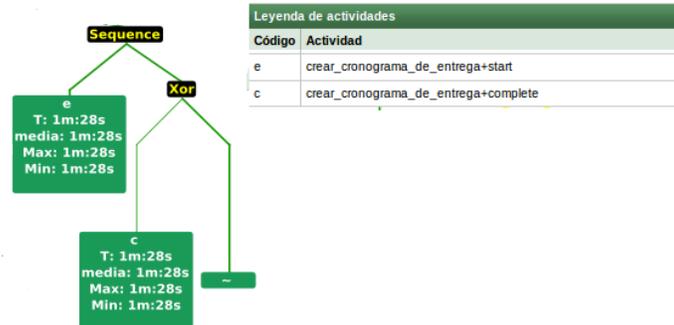


Figura. 26. Modelo del subproceso crear cronograma de entrega. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección del registro de eventos se identifica la existencia de la secuencia entre la actividad crear_cronograma_de_entrega+star y un subproceso descompuesto mediante el patrón de control de flujo selección exclusiva. La traza que contiene únicamente a la actividad crear_cronograma_de_entrega+complete representa una de las situaciones de ausencia de información reportadas en la literatura. [Yzquierdo, 2012]

La ausencia de representación de uno de los subprocesos que se encuentran en secuencia en alguna traza es considerada ausencia de información para el patrón de control de flujo secuencia. El análisis de la sección del registro de eventos correspondiente evidencia la ausencia de información en la segunda traza.

La identificación de la ausencia de información en esa traza provoca la inserción de una actividad invisible inmediatamente después de la actividad crear_cronograma_de_entrega+complete. Una tarea invisible se puede manifestar cuando se produce un salto de una o varias actividades en una situación de selección. La inserción de la actividad invisible en la traza posibilita la posterior identificación del patrón de selección exclusiva.

Se aprecia en el grosor de las aristas del árbol el subproceso cuya descomposición se realizó utilizando el patrón de selección exclusiva, que la alternativa que contiene la actividad invisible insertada es menos frecuente. Esto indica que la ejecución más común del subproceso crear_cronograma_de_entrega es la secuencia conformada por crear_cronograma_de_entrega+star y crear_cronograma_de_entrega+complete.

Subproceso crear_contrato

La descomposición obtenida para este subproceso y la codificación de sus actividades se muestran en la Figura 27.

Validación de la Propuesta de Solución

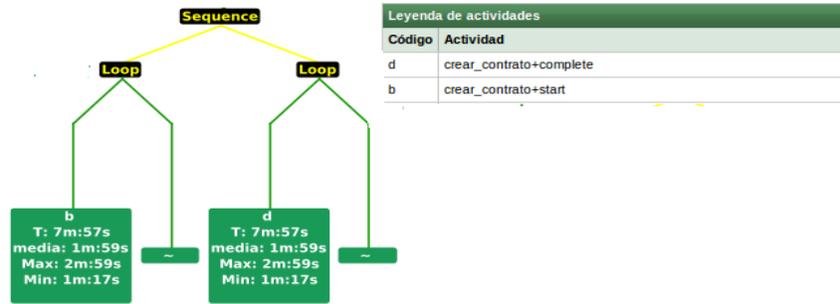


Figura. 27. Modelo del subproceso crear contrato. Fuente: Elaboración propia.

En esta sección del registro de eventos se identifica la existencia de la secuencia entre dos subprocesos descompuestos mediante el patrón de control de flujo Lazo, esto significa en un primer momento se ejecutará el subproceso descompuesto por el patrón lazo de la izquierda y en un segundo momento el descompuesto por el patrón Lazo de la derecha.

El primer subproceso se descompone a su vez en una actividad llamada crear_contrato+start y una actividad invisible, la cual representa que existe ausencia de información en el proceso. La actividad crear_contrato+start en el lazo se va a ejecutar tantas veces como aparezca en el registro de eventos, dicha actividad siempre va a aparecer como actividad de inicio de la secuencia del subproceso general.

El segundo subproceso se descompone en dos actividades, crear_contrato+complete y una actividad invisible que al igual que en el subproceso anterior representa ausencia de información. La actividad crear_contrato+complete puede aparecer tantas veces como se registre en el registro de eventos y la misma es la que culmina la secuencia general iniciada por la actividad crear_contrato+start del lazo izquierdo.

Establecimiento de métricas para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal

Los nodos hojas del árbol de variantes representan las actividades que se ejecutan en el proceso, además cada nodo muestra las métricas para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal, las cuales son duración total, media, máxima y mínima.

Las métricas en el modelo aparecen en abreviaturas, en la siguiente tabla se muestra como se identifica cada una en el árbol de variantes.

Tabla 10. Métricas para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal. Fuente: Elaboración propia.

| Métricas | Identificador |
|----------------|---------------|
| Duración total | T |
| Duración media | Med |

Validación de la Propuesta de Solución

| | |
|-----------------|-----|
| Duración máxima | Max |
| Duración mínima | Min |

Las métricas aparecen en el formato D HH: mm: ss., d representa la cantidad de días, h las horas, m los minutos y s los segundos de ejecución de cada actividad.

En la Tabla 11 se identifican las métricas para el modelo del proceso Procesar Solicitudes que se muestra en la Figura 25.

Tabla 11. Identificación de las métricas para el modelo del proceso Procesar Solicitudes. Fuente: Elaboración propia.

| Actividad | Código | T | Med | Max | Min |
|---|--------|----------|----------|----------|----------|
| crear_contrato+ complete | d | 7m y 57s | 1m y 59s | 2m y 59s | 1m y 17s |
| crear_cronograma_de _entrega+star | e | 1m y 28s | 1m y 28s | 1m y 28s | 1m y 28s |
| crear_contrato+star | b | 7m y 57s | 1m y 59s | 2m y 59s | 1m y 17s |
| crear_cronograma_de_entrega + complete | c | 1m y 28s | 1m y 28s | 1m y 28s | 1m y 28s |

La Tabla 11 se interpreta de la siguiente forma por cada una de las actividades. La actividad crear_contrato+ complete codificada como d, tiene una duración total de 7 minutos y 57 segundos, una duración media de 1 minutos y 59 segundos, una duración máxima de 2 minutos y 59 segundos y duración mínima de 1 minutos y 17 segundos.

3.6. Índice de satisfacción de expertos y usuarios potenciales

Se aplicó la técnica ladov para determinar el Índice de Satisfacción Grupal (ISG), relacionado con el uso de la herramienta de análisis de variabilidad. A partir de la aplicación de la herramienta fueron encuestados 22 analistas de software y de minería de procesos pertenecientes al Centro de Informática Médica (ver Anexo 1). Los resultados por categorías de la escala de satisfacción ladov se muestran en el gráfico de la Figura 28.

La escala de satisfacción aplicada es la siguiente: Clara satisfacción, Más satisfecho que insatisfecho, No definida, Más insatisfecho que satisfecho, Clara insatisfacción, Contradictoria. Para obtener el ISG, los niveles de satisfacción se expresan en escala numérica que oscila entre +1 y - 1 de la siguiente forma: Máxima satisfacción (+1), Más satisfecho que insatisfecho (0,5), No definido y contradictorio (0), Más insatisfecho que satisfecho (0,5) y Máxima insatisfacción (-1).

La satisfacción grupal se calcula por la siguiente fórmula:

$$ISG = \frac{A(+1) + B(0,5) + C(0) + D(-0,5) + E(-1)}{N}$$

Validación de la Propuesta de Solución

A; B; C; D y E, representan el número de sujetos con índice individual 1; 2; 3 ó 6; 4; 5, respectivamente; y N representa el número total de sujetos del grupo.

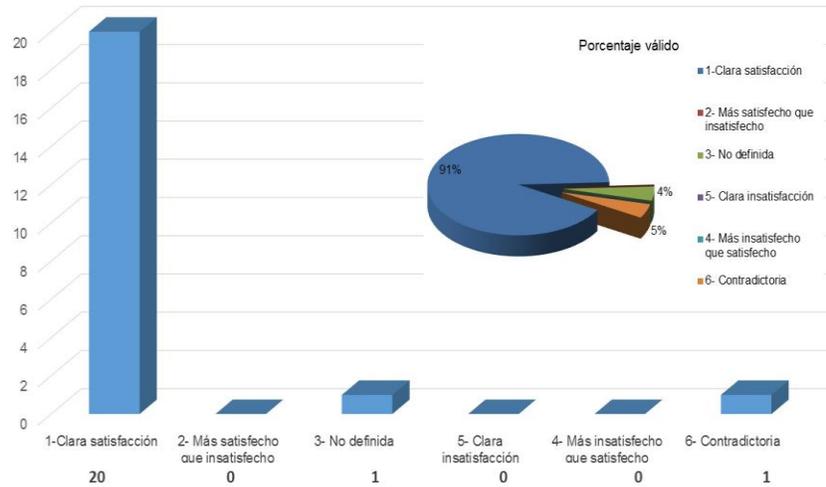


Figura. 28. Resultados de la aplicación del Índice de Satisfacción Grupal. Fuente: Elaboración propia.

Para calcular los valores de porcentaje válido de la Figura 28 se eliminaron las respuestas no definidas y contradictorias. Se observa que el porcentaje se corresponde con la categoría de satisfacción "Clara satisfacción". A partir de la aplicación de la técnica se obtuvo un Índice de Satisfacción Grupal igual a 0,90. Este valor confirma resultados favorables para la aceptación de la herramienta desarrollada.

3.7. Conclusiones parciales

1. La herramienta informática desarrollada permitió su aplicación en registros de eventos extraídos del HIS, lo cual propició la detección de desviaciones en la ejecución de procesos, realizar analizar sus variantes y de tiempo e identificar caminos frecuentes.
2. La herramienta muestra los resultados en tiempos relativamente cortos, lo cual es una ventaja con respecto a las formas tradicionales de realizar estos análisis.
3. Al aplicar la técnica ladov fue constatada la satisfacción favorable de usuarios potenciales de la herramienta, arrojando un Índice de Satisfacción Grupal igual a 0,90.
4. Tanto la evaluación en un entorno real, como el experimento realizado, permiten determinar que la herramienta propuesta facilita el uso de la minería de procesos para usuarios no expertos en esta tecnología.

Conclusiones

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

La construcción del marco teórico referencial de la investigación permitió seleccionar las técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad, así como identificar los elementos innecesarios para su aplicación en los procesos del HIS.

El componente desarrollado para la extracción de registros de eventos es efectivo para extraer información de los procesos del HIS.

La herramienta desarrollada detecta variabilidad en los procesos hospitalarios del HIS y se abstrae de las métricas y parámetros innecesarios para el entorno sanitario.

El proceso de validación realizado muestra la efectividad de la solución propuesta para detectar variabilidad en procesos hospitalarios al identificar desviaciones, frecuencia de ejecución, caminos más transitados, cuellos de botella y variaciones en el tiempo de ejecución.

Recomendaciones

Como continuidad de la presente investigación el autor recomienda las siguientes acciones:

1. Incorporar a la herramienta desarrollada un componente que realice la identificación de cuellos de botella basado en la ejecución de los procesos.
2. Incorporar a la herramienta un componente que permita obtener una descripción en lenguaje natural o alternativa de los resultados obtenidos en los modelos de proceso.
3. Integrar la solución propuesta a los sistemas desarrollados en el CESIM como mecanismo de valor añadido para la gestión y el control de los procesos de negocio que se ejecutan.

Referencias Bibliográficas

- (Adán, 2011) Adán, V.G. 2011. Pruebas de caja negra. Globe Testing [en línea]. [Consulta: 18 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.globetesting.com/2012/08/pruebas-de-caja-negra/>.
- (Agrawal et al., 1998) Agrawal, R., Gunopulos, D. & Leymann, F. (1998). Mining Process Models from Workflow Logs, Sixth International Conference on Extending Database Technology, p. 469-483.
- (Akhil Systems, 2015) Akhil Systems. (2015). Akhil Systems Pvt. Ltd. www.akhilsystems.com/
- (Alfatec HIS, 2015) Alfatec HIS. (2015). Alfatec Sistemas. [En línea] <http://alfatecsistemas.es/soluciones/sistema-informacion-hospitalaria/>
- (Amozarrain, 1999) Amozarrain, M. (1999). La gestión por procesos . s.l.: Mondragón.
- (ARIS Process Performance Manager, 2011) ARIS Process Performance Manager, (2011). [En línea] http://www.softwareag.com/corporate/products/aris_platform/aris_controlling/aris_process_performance/overview/default.asp
- (Banco Mundial, 2015) Banco Mundial. 2015. El Banco Mundial. [En línea] 06 de Septiembre de 2015. <http://datos.bancomundial.org/indicador/SH.XPD.PCAP>.
- (Bárcena et al., 2013) Bárcena, A. et al., 2013. Panorama Social de América Latina. División de Desarrollo Social y la División de Estadísticas de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Nueva York: Naciones Unidas, 2013, Estadístico. 978-92-1-221118-3.
- (Benachi et al., 2014) Benachi, E. D., Muñoz, C. R., Rodríguez, I. E., & Alvarado, A. R. (2014). Modelado de los procesos de gestión para laboratorio de metrología del sector energético. Revista GTI, 13(35).
- (Buijs, 2010) Buijs, J.C.A.M. (2010). Mapping Data Sources to XES in a Generic Way [En línea]. Master Thesis. Eindhoven, The Netherlands: Technische Universiteit Eindhoven.
- (Carazo, 2006) Carazo, P. C. M. El método de estudio de caso. Estrategia metodológica de la investigación científica 2006, vol. 20, nº Disponible en: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/pensamiento_gestion/20/5_El_metodo_de_estudio_de_caso.pdf. ISSN 1657-6276
- (Chamorro & Maturana, 2013) Chamorro, M.C. y Maturana, S. (2013). Método para Aplicar minería de procesos a la Distribución de Bebestibles No Alcohólicos.
- (Conesa et al., 2003) Conesa, A., et al. (2003) .Análisis y clasificación de las urgencias hospitalarias mediante los Ambulatory Patient Groups. Gaceta Sanitaria, vol. 17, no 6, p. 447-452.
- (Claes, 2013) Claes, J., & Poels, G. (2013). Process mining and the ProM framework: an exploratory survey. In Business Process Management Workshops (pp. 187-198). Springer Berlin Heidelberg.
- (Cook & Wolf, 1999) Cook, J.E. & Wolf, A.L. (1999). Software process validation: Quantitatively measuring the correspondence of a process to a model, ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, p. 147-176.
- (Corona et al., 2009) Corona, L. A., Fonseca, M. (2009). Contribución de la teoría sobre la toma de decisiones a la atención médica integral. Revista Científica de las Ciencias Médicas en Cienfuegos.
- (Cuartas, 2012) Cuartas, H. S. (2012). Estandarización en los procesos de producción en la empresa Construcciones Cuartas.

Referencias bibliográficas

- (Cuervo et al., 2013) Cuervo, J. L. C., Mendoza, E. F. S., & Ricaurte, J. A. B. (2013). Comparación entre Oracle BPM y JBPM en la optimización de un proceso de admisiones. *Facultad de Ingeniería*, 22(34), 85-96.
- (Davenport, 1993) Davenport, T.H. 1993. *Process innovation: reengineering work through information technology*. Boston, Mass.: Harvard Business School Press.
- (De la Cuesta, 2008) De la Cuesta, G. (2008). *La decisión: una elección entre varias alternativas*. Ciudad de La Habana: Infocid. 2001. [actualizado 2008]. Disponible en: <http://www.opciones.cubaweb.cu/leer.asp?idnuevo=2001>.
- (De Weerd et al., 2012) De Weerd, J et al. (2012). A multi-dimensional quality assessment of state-of-the-art process discovery algorithms using real life event logs. *Information Systems*, Vol.37, p. 654-676.
- (Deming, 1989) Deming, W. E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad: La salida de la crisis*. España: Díaz de Santos S.A.
- (Domínguez et al., 2011) Domínguez, E A., Zacca, E. (2011). Sistema de salud de Cuba. *Salud Pública México*, Vol. 53, p. 168-176.
- (Ferreira et al., 2015) Ferreira, L., Miranda, I., Simoes, R., & Cruz-Cunha, M. M. (2015). GuiMarket Specification Using the Unified Modeling Language. *Procedia Computer Science*, 64, 1263-1272.
- (Flores, 2014) Flores, R. (2014). *Metodología para la elaboración de procedimientos operacionales normalizados, aplicables al manual del aeródromo*.
- (Fluxicon, 2009) Fluxicon. 2015. Fluxicon. *Process mining for professionals. Discover your procesess*. [Online] Fluxicon, 2015. [Cited: Noviembre 30, 2015.] <https://fluxicon.com/disco/>.
- (Gao, 2013) Gao, X. (2013). *Towards the Next Generation Intelligent BPM. In the Era of Big Data*. Department of Management Information System. China Mobile Communications Corporation, Beijing 100033, China.
- (Gérvas, 1987) Gérvas, J. J. (1987). *Los sistemas de registro en la atención primaria*. España: Díaz Santos, p. 3-15.
- (Günther, 2009) Günther, C. W. (2009). *XES Extensible Event Stream standard definition*. S.l.: s.n.
- (Günther, 2009a) Günther, C.W. (2009a). *Process Mining in Flexible Environments*. Tesis Doctoral, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- (Hernández, 2012) Hernández, P.M.(2012). *Aplicación de técnicas de minería de procesos para el control y mejoramiento del proceso de compras nacionales e internacionales de bienes y servicios para proyectos de investigación de la Pontificia Universidad Javeriana*. Tesis de Maestría. Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería Industrial, Bogotá.
- (Hernández-Nariño et al., 2009) Hernández-Nariño, A., Medina, A., Nogueira, D. (2009). *Herramientas para la mejora de procesos hospitalarios. Un procedimiento para su aplicación*. Gestión de Procesos.Cujae. 3002)
- (Hernández-Nariño et al., 2010) Hernández Nariño, A., Medina León, A., Nogueira Rivera, D., & Marqués León, M. (2010). *El uso del case mix como un método de reducción de programas de producción hospitalaria y herramienta de apoyo a la gestión y mejora de procesos*. Recuperado de <http://www.eumed.net/ce/2010a/nlrl.htm>
- (Hernández-Nariño et al., 2010a) Hernández Nariño, A., Medina León, A., & Nogueira Rivera, D. (2010a). *Criterios para la elaboración de mapas de procesos. Particularidades para los servicios hospitalarios*. *Ingeniería Industrial*, 30(2).
- (Hernández-Nariño et al., 2013) Hernández-Nariño, A. et al. *Inserción de la gestión por procesos en instituciones hospitalarias. Concepción metodológica y práctica*. *Revista de Administração-RAUSP*, 2013, vol. 48, no 4, p. 739-756.

Referencias bibliográficas

- (Hernández-Nariño et al., 2014) Hernández-Nariño, A., Medina-León, A., Nogueira-Rivera, D., Negrín-Sosa, E., & Marqués-León, M. (2014). Systems characterization and clasification, a needed step for processes management and improvement. The specifics of health care organizations. *Dyna*, 81(184), 193-200.
- (IEEE Task Force on Process Mining, 2011) IEEE TASK FORCE ON PROCESS MINING, 2011. Manifiesto sobre Minería de proceso. S.l.: s.n. [En línea]. <http://www.win.tue.nl/ieeetfpm/lib/exe/fetch.php?media=shared:pmm-spanish-v1.pdf>.
- (Jans, 2011) Jans, M. Process Mining of Event Logs in Internal Auditing: A Case Study. The 2nd International Symposium on Accounting Information Systems, Italy, 2011.
- (James, 2013) James, J. T. (2013). A new, evidence-based estimate of patient harms associated with hospital care. *Journal of patient safety*, 9(3), 122-128.
- (Jaramillo, 2014) Jaramillo Llano, H. M. (2014). Contribución a la optimización del servicio al cliente en la empresa JCI aire acondicionado en la ciudad de Palmira periodo 2014-2016.
- (Jones et al., 2014) Jones, S. T., Levine, F. E., & Pineda, E. M. (2014). U.S. Patent No. 8,839,271. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- (Kanteron HIS, 2015) Kanteron HIS. (2015). Software médico y equipamiento hospitalario. Kanteron Systems. [En línea] <http://www.interempresas.net/Medico-hospitalario/FeriaVirtual/Producto-Sistemas-de-informacion-hospitalaria-Kanteron-HIS-106285.html>
- (Kühne, 2006) Kühne, T. (2006).Matters of (meta-) modeling. *Software and Systems Modeling*, pp. 369–385.
- (Leemans et al., 2014) Leemans, Sander J.J., Fahland, Dirk y van der Aalst, Wil M.P.(2014). Process and Deviation Exploration with Inductive visual Miner. Eindhoven : Eindhoven University of Technology.
- (Loxton, 2015) Loxton, M. 2015. Using MAXQDA in Healthcare Research: Process Discovery. MAXQDA. The Art of Data Analysis. [En línea] 23 de Noviembre de 2015. [Citado el: 30 de Noviembre de 2015.] <http://www.maxqda.com/process-discovery-maxqda>.
- (Mans et al., 2008) Mans, R.S., Schonenberg, M.H., Song, M., van der Aalst, W.M.P. & Bakker, P.J.M. (2008). Process mining in healthcare. A Case Study. Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- (Mans et al., 2009) Mans, R.S., Schonenberg, M.H., Song, M., van der Aalst, W.M.P. & Bakker, P.J.M. (2009). Application of Process Mining in Healthcare. A Case Study in a Dutch Hospital, Eindhoven University of Technology, The Netherlands, p. 425-438.
- (Mans et al., 2013) Mans, R. S., van der Aalst, W. M., Vanwersch, R. J., & Moleman, A. J. (2013). Process mining in healthcare: Data challenges when answering frequently posed questions. In *Process Support and Knowledge Representation in Health Care* (pp. 140-153). Springer Berlin Heidelberg.
- (Mans et al., 2015) Mans, R. S., van der Aalst, W. M., & Vanwersch, R. J. (2015). Healthcare Processes. In *Process Mining in Healthcare* (pp. 11-15). Springer International Publishing.
- (Martín et al., 2011) Martín, A. Zurro & Jodar, G. Solá. (2011). Atención primaria de salud y atención familiar y comunitaria, España: Elsevier.
- (Martin & Osterling, 2014) Martin, C., & Osterling, M. (2014). Value Stream Mapping. Ohio, Estados Unidos: McGraw Hill.

Referencias bibliográficas

- (Mending et al., 2012) Mendling, J., Strembeck, M., and Recker, J. (2012). Factors of process model comprehension. findings from a series of experiments. *Decision Support Systems*, 53(1):195–206.
- (Morales, 2014) Morales, J. A. (2014). Diseño de un procedimiento de soldadura SIN POST-calentamiento para el acero AISI 4130 bajo norma API 6A y norma ASME sección 9 (Doctoral dissertation, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Mecánica.).
- (Murga-Menoyo, 2011) Murga-Menoyo, M. Á. (2011). Infotecnología e innovación docente. Los editores de mapas conceptuales: posibilidades y límites. *Revista Española de Pedagogía*, 273-288.
- (NC/ISO-9000, 2005) NC/ISO-9000. (2005). *Sistemas de Gestión de la Calidad-Fundamentos y Vocabularios*, NC ISO 9000: 2005.
- (Nordsieck, 1932) Nordsieck, F. (1932). *Die Schaubildliche Erfassung und Untersuchung der Betriebsorganisation. Organisation – Eine Schriftenreihe*. C. E. Poeschel Verlag, Stuttgart, p. 23.
- (Orellana et al., 2012) Orellana, A., Reyes, A. J. (2012). Vista de análisis usando la técnica de Agrupamiento para el Sistema Integral para la Atención Primaria de Salud. *Memorias Convención Internacional de Salud Pública. Cuba Salud 2012*.
- (Orellana et al., 2014) Orellana, A., Sánchez, Y. (2014). minería de procesos en salud. Caso de Estudio: modelado de los procesos del área de Emergencia. Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) "Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity".PRF#254, 13 978-0-9822896-7-9.
- (Orellana et al., 2015) Orellana, A., Larrea O. U., and Pérez, D. "Generador de Registros de Eventos para el análisis de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria xavia HIS." *Convención Salud 2015*. 2015.
- (Orellana et al., 2015a) Orellana, A., Pérez, D., & Larrea., O. U. (2015). Analysis of Hospital Processes with Process Mining Techniques. [ed.] Indra Neil Sharkar, Andrew Georgio y Paulo Mazzoncini de Azevedo. Sao Paulo : s.n., 2015. *MEDINFO 2015: EHealth-enabled Health: Proceedings of the 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics*. Vol. 216, pp. 310-314. 978-161449-564-7
- (Orellana & Ledesma, 2015) Orellana, A., Ledesma Y. (2015b). ¿Por qué aplicar Minería de Proceso en el entorno hospitalario? *Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?: Proceedings of the 13th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*, PRF#10,13 978-0-9822896-8-6.
- (Pauker, 1996) Pauker, S.G. (1996). Toma de decisiones clínicas: manejo y análisis de datos clínicos. En: Bennet, J.C, Plum, F. Cecil. *Tratado de Medicina Interna*.20ª ed. México, DF: Editorial Mc Graw-Hill Interamericana; p. 91-97.
- (Pérez, 2014) Pérez, D. (2014). Técnica para el diagnóstico de variantes de procesos de negocio. Tesis de Maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba.
- (Prieto & Pérez, 2002) Prieto, B. R., & Pérez, M. Á. (2002). La reingeniería de procesos como herramienta de mejora de la gestión: el caso del Ayuntamiento de Gijón. *Documentos de trabajo (Universidad de Oviedo. Facultad de Ciencias Económicas)*, (250), 1-34.
- (Process Mining Group, 2009) Process Mining Group (2009). fuzzy Minner-como usar el plugin en ProM. [en línea]. [Consulta: 24 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.processmining.org/online/fuzzyminer>

Referencias bibliográficas

- (QPR Software Oyj, 2011). QPR Software Oyj. (2011). Automated Business Process Discovery Software QPR ProcessAnalyzer. [En línea] <http://www.qpr.com/products/qpr-processanalyzer.htm>
- (Rebuge & Ferreira, 2012) Rebuge, Á. & Ferreira, D. R. (2012). Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining. *Information Systems*, 37(2), 99-116.
- (Reijers et al., 2007) Reijers, A., van der Aalst, W.M.P, Weijters, A.J. et al. (2007). Business Process Mining: An Industrial Application. *Information Systems*.
- (Recker et al., 2007) Recker, J., Rosemann, M., Indulska, M. & Green, P. (2007). Business Process Modeling: A Maturing Discipline?
- (Recker et al., 2014) Recker, J., Reijers, H., and Wouw, S. v. d. (2014). Process model comprehension: The effects of cognitive abilities, learning style, and strategy. *Communications of the Association for Information Systems*, 34(1). 00000.
- (Robbins, 1988) Robbins, S.P. (1988). Toma individual de decisiones. *Fundamentos de comportamiento organizacional*. 5ta ed. México, DF: Prentice Hall; p. 83-97.
- (Rodríguez et al., 2012) Rodríguez, C., Engel, R., Kostoska, G., Daniel, F., Casati, F., & Aimar, M. (2012, September). Eventifier: Extracting process execution logs from operational databases. In *Demonstration Track of BPM Conference, CEUR-WS* (pp. 17-22).
- (Roth et al., 2013) Roth, W. J., Nachtigall, P., Morris, R. E., Wheatley, P. S., Seymour, V. R., Ashbrook, S. E., ... & Čejka, J. (2013). A family of zeolites with controlled pore size prepared using a top-down method. *Nature chemistry*, 5(7), 628-633.
- (Ruiz, 2012) Ruiz, F. (2012). *Proceso Software y Gestión del Conocimiento*. Grupo Alarcos. Dep. de Tecnologías y Sistemas de Información Esc. Sup. de Informática. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real.
- (Rumbaugh et al., 2007) Rumbaugh, J., Jacobson, I., Booch, G. (2007). *El Lenguaje Unificado de Modelado*. Manual de Referencia. Pearson Education. p18.
- (Sachs, 2002) Sachs, J. D. (2002) "Macroeconomics and health: investing in health for economic development." *Revista Panamericana de Salud Pública* 12.2: 143-144.
- (Salamea, 2003) Salamea, C. G. G., & Molina, M. F. C. D. G. (2003). *La Informática Médica y los Sistemas de Información*. Santiago.
- (Sescam, 2002) Sescam. (2002). *La Gestión por Procesos*. Servicio de Calidad de la Atención Sanitaria. [En línea] 21 de octubre de 2002. Extraído el: 26 de octubre de 2015. <http://www.chospab.es/calidad/archivos/Documentos/Gestiondeprocesos.pdf>
- (Silveira et al., 2012) Silveira, E. D., Díaz, A. Á., Menéndez-Conde, C. P., Pérez, J. S., Sagrado, M. R., & Vicedo, T. B. (2012). Análisis modal de fallos y efectos del proceso de prescripción, validación y dispensación de medicamentos. *Farmacia Hospitalaria*, 36(1), 24-32.
- (Soler et al., 2011) Soler, C., Lombardo, A. (2011). En apoyo al método clínico. *Revista Cubana de Medicina*. [En línea] 28 de julio de 2011. [Citado el: 8 de octubre de 2014.
- (Stachowiak, 1973) Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modell theorie (General model Theory)*. Springer. ISBN ISBN 3-211-81106-0.
- (TESIS HIS, 2015) TESIS HIS. (2015). *Sisinf Soluciones para Sistemas de Información Sanitaria*. [En línea] <http://www.sisinf.com/es/his-software-para-hospitales.php>
- (Trischler, 2000) Trischler, W.E., *Mejora del valor añadido en los procesos*, Barcelona, Ediciones Gestión 2000, S.A., 1998, 83-8088-286-7, pp. 21-107

Referencias bibliográficas

- (Urquiaga et al., 2010) Urquiaga Rodríguez, A. J., Torres Cabrera, L., & Acevedo Suárez, J. A. (2010). Procedimiento de análisis y mejoramiento de procesos. Aplicación a una corporación comercial. *Ingeniería Industrial*, 25(2), 5-pág.
- (van der Aalst et al., 2003) van der Aalst, W.M.P., terHofstede, Arthur, H. M. & Weske, M. (2003). *Business Process Management: International Conference*. Eindhoven University of Technology, The Netherlands: Springer, Vol. 1, p. 6-22.
- (van der Aalst & Gunther, 2007) van der Aalst, W.M.P. y Gunther, C.W. (2007). *Fuzzy Mining – Adaptive Process Simplification Based on Multi-perspective Metrics*. Business Process Management. Alonso, G., Dadam, P. y Rosemann, M. Berlín, Alemania: Springer- Berlin Heidelberg, pp. 328–343. ISBN 978-3-540-75182-3.
- (van der Aalst, 2009) van der Aalst, W.M.P. (2009). "ProM: The Process Mining Toolkit," in *Proceedings of BPM*. Germany : s.n., Vol. 489.
- (van der Aalst, 2011) van der Aalst, W.M.P. (2011). *Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. London New York: Springer.
- (van der Aalst, 2011a) van der Aalst, W. (2011a). Do Petri Nets Provide the Right Representational Bias for Process Mining? En J. Desel & A. Yakovlev (Eds.), *Workshop Applications of Region Theory 2011 (ART 2011)* (Vol. 725, p. 85-94). Newcastle upon Tyne, UK: CEUR Workshop (CEUR-WS.org).
- (van der Aalst et al., 2009) van der Aalst, W.M.P., et al. (2009). "ProM: The Process Mining Toolkit," in *Proceedings of BPM (Demos) 2009*, Ulm, Germany. CEUR-WS.org, vol. 489.
- (van der Aalst et al., 2011) van der Aalst, W.M.P., Adriansyah, A., Medeiros, A.K.A. et al. (2011). *Process Mining Manifesto*. IEEE.
- (van der Aalst et al., 2012) van der Aalst, W., Adriansyah, A., De Medeiros, A., et al., (2012). *Process mining manifesto*, volume 99 LNBIP of 9th International Conference on Business Process Management, BPM 2011P. Clermont-Ferrand.
- (van der Aalst, 2013) van der Aalst, W M. P. (2013). Could BPM and Process Mining Save US Healthcare 600 Billion Dollars? *The Healthcare Business Process Management Blog*. United States, 23 de Enero de 2013.
- (Van Eck, 2013) Van Eck, M. 2013. *Alignment-based Process Model Repair and its Application to the Evolutionary Tree Miner*. Eindhoven.
- (Verbeek, 2010) Verbeek, H.M.W. (2010). *ProM 6 Tutorial*. ProM. (n.d.). Extraído el 25 de abril de 2014 desde <http://www.promtool.org/prom6>
- (Verbeek et al., 2011) Verbeek, H., Buijs, J., Van Dongen, B., and Van Der Aalst, W. (2011). *XES, XESame, and ProM6*, volume 72 LNBIP of CAiSE Forum 2010 on Information Systems Evolution. Hammamet.
- (Vossen, 2012) Vossen, G. (2012) .The process mining manifesto - An interview with Wil van der Aalst., *Inf. Syst.*, vol. 37, no 3, p. 288-290.
- (Webster, 2011) Webster, Ch. (2011). *EHR BPM: From Process Mining to Process Improvement to Process Usability*. Trabajo presentado en EHR Workflow Inc.
- (Weijters & van der Aalst, 2003) Weijters, A. J. M. M. & van der Aalst, W.M.P. (2003). *Rediscovering Workflow Models from Event-Based Data using Little Thumb*. Trabajo publicado en *Journal Integrated Computer-Aided Engineering*, Vol. 10, p. 151-162.
- (Weijters, van der Aalst & De Medeiros, 2006) Weijters, W., Van der Aalst, W. & De Medeiros, A. (2006). *Process Mining with the Heuristics Miner Algorithm*.(166). Recuperado de Eindhoven University of Technology, Eindhoven, BETA Working Papers Series: <http://beta.ieis.tue.nl/node/1254>.

Referencias bibliográficas

- (Weijters & Ribeiro, 2011) Weijters, A. & Ribeiro, J. (2011). Flexible Heuristics Miner (FHM). Computational Intelligence and Data Mining (CIDM), 2011 IEEE Symposium on (p.310-317). Paris, Francia.
- (Weske & Heidelberg, 2007) Weske, M. & Heidelbergh, V. (2007). Business Process Management. Concepts, Languages, Architectures. S.l.: s.n. ISBN 9783540735.
- (Yang & Hwang, 2006) Yang, W. S., & Hwang, S. Y. (2006). A process-mining framework for the detection of healthcare fraud and abuse. Expert Systems with Applications, 31(1), 56-68.
- (Yzquierdo, 2012) Yzquierdo, R. (2012). Modelo para la estimación de información ausente en las trazas usadas en la minería de proceso. Tesis de Doctorado, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba.

Anexos

ANEXO 1. Cuestionario para evaluación de la satisfacción del usuario con respecto a la herramienta de análisis de variabilidad de procesos hospitalarios.

Determinación del índice de satisfacción grupal (ISG). Técnica Iadov

Encuesta

Lea atentamente las cuestiones a responder. Se trata de un cuestionario anónimo. Le agradecemos su participación y franqueza a la hora de emitir su respuesta.

- ¿Si tuviera que elegir entre hacer una reunión para analizar un proceso o utilizar una herramienta informática, preferiría la reunión? Marque con una X su respuesta, seleccione una sola opción.
Si ____ No sé ____ No ____
- ¿Considera útil la aplicación de técnicas de minería de procesos para analizar la ejecución de los procesos hospitalarios desde sistemas automatizados? Marque con una X su respuesta, seleccione una sola opción.
No ____ No sé ____ Si ____
- Si tuviera que analizar un proceso hospitalario con una herramienta informática ¿Cuál sería su motivación? con una X su respuesta, seleccione una sola opción.
Ahorro de tiempo en el análisis ____ Resultados confiables ____
Se basa en datos reales ____
- ¿Qué elementos, a su entender, mejora la herramienta propuesta con respecto a las ya existentes de Minería de procesos? Marque con una X su respuesta, seleccione una sola opción.
Usabilidad ____ Comprensión ____ Ninguno ____ No sé ____
- ¿Qué elementos considera que se deben incluir en la herramienta?

- ¿Le gusta la herramienta propuesta? Marque con una X su respuesta, seleccione una sola opción.
Me gusta mucho ____
No me gusta tanto ____
Me da lo mismo ____
Me disgusta más de lo que me gusta ____
No me gusta nada ____
No sé qué decir ____

Tabla 12. Resultados de la encuesta.

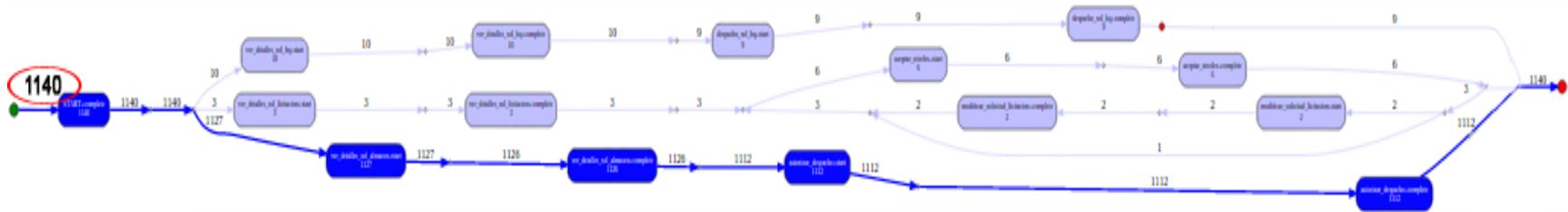
| Pregunta 1 | Si | No sé | No | | | |
|------------|------------------|-----------------------|-------------------------|-------|---|---|
| | 1 | 1 | 20 | | | |
| Pregunta 2 | Si | No sé | No | | | |
| | 22 | 0 | 0 | | | |
| Pregunta 3 | Ahorro de tiempo | Resultados confiables | Se basa en datos reales | | | |
| | 14 | 4 | 4 | | | |
| Pregunta 4 | Usabilidad | Comprensión | Ninguno | No sé | | |
| | 10 | 10 | 0 | 0 | | |
| Pregunta 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 20 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Leyenda pregunta 6:

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.

Anexos

ANEXO 5. Modelo del proceso Solicitar producto con fecha de inicio 01/01/2011 y fecha de fin 01/01/2015, con la opción Caminos. Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 6. Modelo del proceso Solicitar Interconsulta Hospitalaria con fecha de inicio 01/01/2011 y fecha de fin 01/01/2015, con la opción Caminos. Fuente: Elaboración propia.

