



Universidad de las Ciencias Informáticas

Centro de Informática Médica CESIM

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR
EN CIENCIAS TÉCNICAS**

**MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN
PROCESOS HOSPITALARIOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE
MINERÍA DE PROCESOS**

ARTURO ORELLANA GARCÍA

LA HABANA
2016



Universidad de las Ciencias Informáticas

Centro de Informática Médica CESIM

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL GRADO CIENTÍFICO DE DOCTOR
EN CIENCIAS TÉCNICAS**

**MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN
PROCESOS HOSPITALARIOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE
MINERÍA DE PROCESOS**

AUTOR: MSC. ARTURO ORELLANA GARCÍA

**TUTORES: DRA.C. VIVIAN ESTRADA SENTÍ
DR.C. DAMIÁN PÉREZ ALFONSO**

LA HABANA
2016

AGRADECIMIENTOS

A la hora de redactar los agradecimientos de tesis nos quedamos en blanco, las palabras se nos van y no sabemos cómo empezar y mucho menos cómo terminar; y es que se nos complica expresar nuestros sentimientos o nuestra gratitud hacia esas personas. Tratando de hacerlo lo mejor posible redactaré los míos:

El primer agradecimiento quiero hacerlo llegar a los principales impulsores de mis sueños, pues sin ustedes mis padres *Elma y Arturo* no hubiese podido superar esta meta.

A mis hermanos *Anyisel, Álvaro y Anyelise*, por estar presentes siempre.

A la *UCI*, por haberme dado la oportunidad de crecer y forjarme como profesional, por vivir en sus instalaciones 9 de los mejores años de mi vida.

Al *PEFCI* por su capacidad de formar jóvenes investigadores, comprometidos con la ciencia y el desarrollo social.

A mis tutores *Vivian y Damián*; y al profe *Fébles* por todo lo aprendido con ustedes y las muchas cosas que he incorporado como investigador observando su quehacer científico.

A mis compañeros del CESIM, a su dirección por todo el apoyo brindado en este tiempo de superación, en especial *Filiberto, Leodán, José Felipe y Mayelín*.

Al Grupo de Investigación de Minería de Procesos, artífices de muchos logros alcanzados, a sus miembros ratificarles mi voluntad de verlos llegar a esta instancia.

A mis amigos que estuvieron pendientes del desarrollo de la tesis.

A *Marvin* por ser un amigo incondicional.

A *Maikol, Xavier, Maireilis, Mirella* por ser la familia que me dio la vida.

A *Oswaldo, Carlitos, Ilsen, Yosbani, Sosa, Marcial, Tony, David, Mairelys, Lisandra, Kathy, Sheyla, Asiel, Arian, Jose, Nurys, Lian y Lilian*, a los cuales este resultado pertenece también.

A todos **MUCHAS GRACIAS**

DEDICATORIA

A todas las personas que de una forma u otra han contribuido a mi formación de toda la vida. Este resultado es de ustedes también.

A mis padres por ser un ejemplo incansable de lucha.

SÍNTESIS

El presente documento describe los resultados de la investigación orientada a la detección de variabilidad en procesos hospitalarios, brindando los elementos necesarios para apoyar la gestión hospitalaria desde sus sistemas de información. Estos sistemas cuentan con un volumen importante de datos, sin embargo carecen de mecanismos que permitan analizar la ejecución de sus procesos. Las técnicas de minería de procesos analizan los datos reales de sistemas informáticos y son útiles para la detección de variabilidad en la ejecución de los procesos de negocio. Con el propósito de superar las limitaciones e insuficiencias detectadas acerca de la detección de variabilidad en procesos hospitalarios en Cuba, fue desarrollado un modelo, que adapta e integra técnicas de minería de procesos en sistemas de información de salud. Los dos componentes del Modelo para la Detección de Variabilidad (MDV) son la generación de registros de eventos y un conjunto de técnicas de minería de procesos. Fue elaborado un procedimiento para guiar el proceso de detección y análisis de variabilidad. El modelo se instrumentó exitosamente en el sistema XAVIA HIS desarrollado por la UCI, donde fueron adaptadas e integradas las técnicas de minería de procesos; de esta forma el modelo MDV contribuye al proceso de informatización de la salud en Cuba. Para corroborar la pertinencia, valor científico y su capacidad para detectar variabilidad se aplicaron un conjunto de técnicas cualitativas y cuantitativas. Con los resultados obtenidos a partir de las técnicas aplicadas se realizó una triangulación entre métodos que permitió contrastar los resultados y validar la investigación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	12
1.1 Características de los procesos hospitalarios	12
1.1.1 Variabilidad en los procesos hospitalarios	13
1.2 Gestión de Procesos de Negocio	17
1.2.1 Proceso de negocio	17
1.2.2 Gestión por Procesos.....	18
1.2.3 Modelo de proceso de negocio	20
1.2.4 Comprensión y análisis de modelos de procesos	21
1.3 Técnicas empleadas para modelar procesos hospitalarios	22
1.4 Minería de procesos.....	26
1.4.1 Modelos para guiar los proyectos de minería de procesos	28
1.4.2 Herramientas para la aplicación de minería de procesos	32
1.5 Minería de procesos en el entorno hospitalario.....	34
1.6 Conclusiones del capítulo	42
CAPÍTULO 2. MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN PROCESOS HOSPITALARIOS	44
2.1 Diagnóstico sobre la variabilidad en procesos hospitalarios en Cuba.....	44

2.1.1	Materiales y métodos	45
2.1.2	Resultados del diagnóstico	47
2.2	MDV: Modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios... ..	51
2.3	Principios, enfoques, premisas y componentes del modelo MDV	52
2.4	Estructura del modelo MDV	54
2.5	Componente: Generación de registros de eventos	56
2.6	Componente: Técnicas de minería de procesos	58
2.7	Procedimiento para el análisis de variabilidad	67
2.7.1	Descripción de las fases del procedimiento	68
2.8	Conclusiones del capítulo	69
CAPÍTULO 3. INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS.....		71
3.1	Instrumentación del modelo MDV en el Sistema XAVIA HIS	71
3.2	Validación del modelo MDV	73
3.2.1	Análisis de un proceso del sistema XAVIA HIS con variabilidad en su ejecución.....	75
3.2.2	Valoración por los expertos del modelo elaborado	86
3.2.3	Evaluación de la satisfacción por usuarios potenciales de MDV	89

3.2.4	Entrevista en profundidad	91
3.2.5	Grupo Focal	92
3.3	Triangulación metodológica de los métodos científicos aplicados	95
3.4	Valoración del impacto del modelo propuesto.....	96
3.5	Conclusiones del capítulo	97
	CONCLUSIONES GENERALES	99
	RECOMENDACIONES	100
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
	PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR.....	120
	ANEXOS.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ciclo de vida de BPM..19

Figura 1.2. Fragmento de la información de un Registro de Eventos.....26

Figura 1.3. Investigaciones de minería de procesos por áreas hospitalarias..36

Figura 2.1. Modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.54

Figura 2.2. Fuentes de información que nutren las entradas del modelo MDV.56

Figura 2.3. Esquema del componente en términos de entradas y salidas.57

Figura 2.4. Fragmento de un registro de eventos.57

Figura 2.5. Esquema del componente en términos de entradas y salidas.58

Figura 2.6. Cadena de análisis de IvM.62

Figura 2.7 Esquema de las fases del procedimiento.67

Figura 2.8. Esquema de la fase 1: preparación.68

Figura 2.9. Esquema de la fase 2: modelación.....69

Figura 3.1. Resumen de las técnicas empleadas.74

Figura 3.2. Condiciones para la aplicación de las técnicas de validación.74

Figura 3.3. Modelo del proceso solicitar productos obtenido del motor de flujo jBPM..75

Figura 3.4. Modelo de proceso de negocio solicitar productos.76

Figura 3.5. Modelo del proceso solicitar productos obtenido con Heuristics Miner.77

Figura 3.6. Comparación del modelo de heuristics miner y el proceso de negocio.....78

Figura 3.7. Interfaz para la configuración del valor frecuencia de actividades79

Figura 3.8. Modelo del proceso solicitar productos con Fuzzy Miner.....79

Figura 3.9. Modelo del proceso solicitar productos con IvM y la opción caminos..80

Figura 3.10. Modelo del proceso solicitar productos con IvM y la opción desviaciones..
.....81

Figura 3.11. Movimiento en el modelo con desviación (camino ver_detalle_sol_almacen-autorizar_despacho).....	81
Figura 3.12. Movimiento en el modelo con desviación (camino ver_detalle_sol_bq- despacho_sol_bq).....	82
Figura 3.13. Variantes alternativas del proceso solicitar productos.	83
Figura 3.14. Modelo de proceso obtenido al aplicar la técnica Replay P/C.....	85
Figura 3.15. Tiempos de ejecución restante de las actividades del sistema.	85
Figura 3.16. Resultados de la aplicación de la escala de Likert.....	88
Figura 3.17. Resultados de la aplicación de la técnica de ladov y valor del Índice de Satisfacción Grupal (ISG).....	90
Figura 3.18. Estrategia seguida para la realización de la entrevista.	92
Figura 4.1. Modelo conceptual de Rozinat.	127
Figura 4.2. Modelo conceptual deBozkaya.	128
Figura 4.3. Modelo conceptual de van Giessel.	130
Figura 4.4. Modelo conceptual del ciclo de vida L*.....	132
Figura 4.5. Modelo conceptual del caso de estudio de Jans.....	134
Figura 4.6. Técnicas de minería de procesos más utilizadas.....	136
Figura 4.7. Técnicas de minería de procesos más comprensibles.....	136
Figura 4.8. Fuerzas restringentes e impulsoras para el análisis de procesos y detección de variabilidad en el entorno de la salud..	143
Figura 4.9. Diagrama causa-efecto.	143
Figura 4.10. Equilibrio de las cuatro dimensiones de la calidad.....	148
Figura 4.11. Comparación del equilibrio de las técnicas seleccionadas sobre las dimensiones de calidad.....	149

Figura 4.12. Módulo para generar registros de eventos del sistema XAVIA HIS.	151
Figura 4.13. Técnica Heuristics Miner instanciada en el sistema XAVIA HIS.....	151
Figura 4.14. Técnica Fuzzy Miner instanciada en el sistema XAVIA HIS.....	152
Figura 4.15. Técnica IvM instanciada en el sistema XAVIA HIS.	153
Figura 4.16. Técnica Variants Miner instanciada en el sistema XAVIA HIS.	154
Figura 4.17. Técnica Replay P/C instanciada en el sistema XAVIA HIS.....	155
Figura 4.18. Vista de análisis para la predicción basada en tiempo.....	156
Figura 4.19. Tiempos de ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS.....	156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de comparación de los modelos para aplicar minería de procesos..	30
Tabla 2. Investigaciones de minería de procesos que aplican o proponen los criterios para el análisis de procesos hospitalarios..	39
Tabla 3. Técnicas de minería de procesos evaluadas con los criterios más frecuentes para el análisis de procesos hospitalarios.	41
Tabla 4. Distribución de encuestados del sector hospitalario para el diagnóstico de la investigación.	45
Tabla 5. Distribución de los analistas de procesos encuestados para el diagnóstico de la investigación.....	46
Tabla 6. Objetivos de mayor interés por los especialistas de la gestión hospitalaria para el control y análisis de procesos hospitalarios.....	49
Tabla 7. Cantidad de instancias por actividades del proceso Solicitar producto.	80
Tabla 8. Caminos del proceso Solicitar producto con desviaciones.....	82

Tabla 9. Distribución de los usuarios por escalas de años de experiencia en el trabajo que desempeñan.	90
Tabla 10. Consenso de criterios sobre las preguntas realizadas.	93
Tabla 11. Indicadores estadísticos de MDV.....	94
Tabla 12. Resultados de la triangulación metodológica.....	95
Tabla 11. Composición de expertos involucrados en la determinación de las fuerzas impulsoras y restringentes.....	142
Tabla 12. Fuentes de argumentación del conocimiento de los expertos.....	158
Tabla 13. Resultados de la encuesta para determinar nivel de competencia.....	159
Tabla 14. Respuestas dadas por los expertos para cada indicador.....	162
Tabla 15. Varianza de los resultados de la encuesta por preguntas.....	163
Tabla 16. Cuadro lógico de ladov modificado por el autor.....	165
Tabla 17. Valores de frecuencia de 6 procesos del sistema XAVIA HIS.....	167
Tabla 18. Composición de los especialistas del grupo focal.....	168

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Término	Significado
BPM	en inglés: Business Process Management
BPMN	en inglés: Business Process Management Notation
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
HIS	en inglés: Hospital Information System
IvM	en inglés: Inductive visual Miner
MDV	Modelo para la Detección de Variabilidad
MP	Minería de Procesos
ONEI	Oficina Nacional de Estadísticas e Información
OTIDA	Operaciones, Transportes, Inspecciones, Retrasos o demoras y Almacenajes.
RE	Registro de eventos
SIS	Sistema Integral de Salud
VSM	Value String Mapping

INTRODUCCIÓN

Los servicios sanitarios y sus procesos fundamentales tienen características peculiares en cuanto a su grado de dinamismo, complejidad y naturaleza multidisciplinaria (Rebujé & Ferreira, 2012; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015). Diversos autores de la literatura especializada afirman que los procesos hospitalarios pueden ser agrupados en asistenciales o de soporte, y establecen un estrecho vínculo entre sí para el correcto funcionamiento de las instituciones sanitarias (Sescam, 2002; Hernández et al., 2013; Hernández et al., 2014; López et al., 2015; Sirvent et al., 2015). Los procesos sanitarios están sometidos frecuentemente a entornos cambiantes y regidos por profesionales con formación y criterios dispares, que condicionan el transcurrir de cada ejecución con sus decisiones (Sescam, 2002; Mans, 2011; van der Aalst, 2013; Fernández-Maya, 2015). Los análisis de procesos en instituciones sanitarias suelen ser subjetivos, además de costosos en tiempo y recursos (Hernández et al., 2010; Hernández et al., 2010a; Mans et al., 2015). Por lo general estos análisis no tienen en cuenta la variabilidad existente en la ejecución de los procesos.

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 la misma (Loxton, 2015). Según Hernández et al. (2013) la variabilidad en los procesos hospitalarios está presente, cada vez que se repite un proceso y hay ligeras variaciones en las distintas actividades realizadas que a su vez, generan variaciones en los resultados de cada ejecución.

La variabilidad impacta negativamente sobre importantes funciones gerenciales como la planificación, la gestión y el control de los recursos (Perkins & Cooke, 2012; Kim & Whitt, 2014; Fernández-Maya, 2015). Además, propicia la ocurrencia de errores médicos en el diagnóstico y tratamiento de pacientes, insuficiencias en la calidad de los servicios, malas prácticas clínicas y la aparición de eventualidades o anomalías en el

INTRODUCCIÓN

proceso de atención (Petersen et al., 2012; Tolga, Sezen & Atwat, 2012; De Regge et al., 2015; Busby, Purdy & Hollingworth, 2015).

La variabilidad en los procesos de negocio se clasifica, según la literatura consultada en causa común (identificable) o causa especial (aleatoria). La variabilidad de causa común o identificable existe cuando no presenta un comportamiento estadístico y no son previsible las salidas. Mientras que la variabilidad de causa especial o aleatoria se manifiesta al existir un comportamiento estadístico y predecible; sobre esta se puede ejercer un control estadístico (González & Alarcón, 2003; Escudero et al., 2012; Laguna & Marklund, 2013; La Rosa et al., 2013; Valverde, 2014).

Se realizó un diagnóstico preliminar para valorar los efectos de la variabilidad en los procesos hospitalarios. A partir de un análisis documental se identificó que en Estados Unidos mueren como promedio anual 400 mil pacientes (James, 2013), de ellos 44 mil a 98 mil por errores médicos evitables (Gallardo, 2014; Machado & Morales, 2014) e influenciado por la variabilidad en la atención a pacientes y la gestión de los recursos.

Según la Oficina Nacional de Estadísticas e Información ONEI, Cuba cuenta con más de 12 000 unidades de salud hasta el 2015, donde la cantidad de ingresos de pacientes (1 367 982), las consultas realizadas (82 587 000) y el gasto de materiales e insumos ha aumentado en los últimos años (ONEI, 2015). El gasto del sector (9 350 millones de pesos) ha aumentado un 25,9% en el 2015 con respecto al año precedente.

Se realizaron 11 entrevistas a especialistas de la gestión hospitalaria (Asesores de Registros Médicos, Estadísticos y Médicos Administrativos) en instituciones cubanas. Estas instituciones fueron: Hospital Hermanos Ameijeiras (4), Hospital Militar Central Doctor Carlos Juan Finlay (1), Hospital Naval Luis Diaz Soto (1), Clínica Central Cira García (2), Hospital Pediátrico Doctor Juan Manuel Márquez (1) y el Centro Nacional de Cirugía de Mínimo Acceso (2). Al respecto, los entrevistados plantean que la

variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios ha incidido negativamente sobre el gasto del sector en Cuba, además:

- Afirman que para Cuba sería importante detectar y reducir la variabilidad en sus procesos en función de aumentar la calidad de los servicios médicos y beneficiar la economía del país.
- Consideran necesario analizar alternativas para el ahorro de recursos y la optimización de los servicios que se brindan
- Afirman que en los procesos hospitalarios de Cuba se manifiesta la variabilidad Identificable y Aleatoria, sin embargo consideran que se debe prestar mayor atención a la variabilidad aleatoria en función del flujo de actividades y los tiempos de ejecución.

Es una tendencia la preocupación por mejorar los resultados y ofrecer servicios de salud con elevada calidad y eficiencia, 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 et al., 2010); y en gran medida apoyados por sistemas automatizados para así, dar una atención y respuesta única, dirigida tanto a aumentar la satisfacción de los pacientes como a facilitar las tareas a los profesionales (Kuperman, Gardner & Pryor, 2013; Arango, Cabrera & Mendoza, 2015; Collen & Detmer, 2015).

Loxton (2015) plantea que las investigaciones 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. Respecto al uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones los entrevistados:

- Sugieren crear alternativas basadas en fuentes de información no subjetivas, que ayude a detectar la variabilidad en los procesos hospitalarios.

INTRODUCCIÓN

- Consideran pertinente y novedoso utilizar los sistemas de información de salud para analizar los procesos hospitalarios, debido a que pueden ser útiles para detectar variabilidad.
- Consideran novedoso, actual y estratégico la aplicación de tecnologías emergentes para los análisis de datos y procesos en instituciones sanitarias.

Una tecnología de impacto creciente en esferas como la industrial y empresarial lo constituye la minería de procesos (van der Aalst, 2011; van der Aalst et al., 2012). Posibilita entender cómo son ejecutados en realidad los procesos en sistemas automatizados. Su aplicación ayuda a identificar cuellos de botella, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas, y simplificar procesos para la mejora del funcionamiento del negocio.

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 (van der Aalst, 2012; De Weerd et al., 2013; van der Aalst, 2013a). De igual forma, se observa una vinculación a la mayoría de los sectores sociales, no así en la rama hospitalaria, la cual tiene una influencia alta en la calidad de vida de los ciudadanos (Rebuge, 2012; Mans et al., 2013; van der Aalst, 2013; Rojas et al., 2016).

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?* " 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). En esta entrevista se afirma que es posible ahorrar 600 billones de dólares a la economía

estadounidense si se aplica BPM (*Business Process Management*, por su nombre en inglés) y la minería de procesos en su sector sanitario.

Los sistemas desarrollados para automatizar la gestión de los diferentes procesos hospitalarios, proporcionan nuevas oportunidades de mejora en los métodos y técnicas asistenciales mediante la integración de tecnologías de información y médicas (Mans et al., 2008; Collen & Detmer, 2015). En Cuba, según los especialistas entrevistados, la información almacenada en los sistemas de información de salud no es aprovechada en función de generar conocimientos sobre el comportamiento de los procesos y el rendimiento de la organización.

La mayoría de los sistemas de salud almacenan los datos de ejecución de sus actividades de procesos. Para aplicar minería de procesos sobre estos sistemas existen varios modelos que guían los proyectos de investigación. En la literatura consultada se destacan el modelo de van Giessel (van Giessel, 2004), el modelo de Rozinat (Rozinat et al., 2009), el modelo de Bozkaya (Bozkaya, Gabriels & Werf, 2009), el Modelo de Ciclo de vida L* (van der Aalst, 2011) y el caso de estudio de Jans (Jans, 2011).

Para aplicar los modelos antes mencionados es necesario tener conocimientos teóricos de minería de procesos, sus herramientas y las técnicas desarrolladas. Son elaborados para ser usados por investigadores y expertos de la disciplina, por lo que su utilización es limitada en su estado actual para especialistas de la gestión hospitalaria.

A partir de las entrevistas y el análisis documental realizado se identificaron un conjunto de insuficiencias o limitaciones relacionadas a la detección de variabilidad en los procesos hospitalarios, entre las que se destacan:

- ✦ Poca rapidez, flexibilidad y objetividad en la toma de decisiones sobre la ejecución de los procesos hospitalarios, pues las decisiones en su mayoría se basan en elementos subjetivos.

INTRODUCCIÓN

- ✦ Insuficiente efectividad en las técnicas y métodos para analizar los procesos del sector de la salud y detectar variabilidad en su ejecución.
- ✦ Escaso aprovechamiento de los datos almacenados en sistemas de información de salud, limitando el acceso a una importante fuente de conocimientos.
- ✦ Insuficientes herramientas informáticas en el sector hospitalario que permitan detectar efectivamente la variabilidad y el análisis de sus procesos.
- ✦ Los modelos referentes, para aplicar técnicas de minería de procesos por profesionales no expertos en esta disciplina, resultan muy complejos.

Lo referido anteriormente fundamenta la formulación del siguiente **problema científico**: ¿Cómo detectar la variabilidad en los procesos hospitalarios, desde los sistemas de información de las instituciones sanitarias, para apoyar la gestión de sus procesos?

Se define como **Objeto de estudio**: La gestión basada en procesos desde los sistemas de información de las instituciones sanitarias.

Para alcanzar una solución satisfactoria y efectiva sobre el problema científico, se plantea como **objetivo general**: Desarrollar un modelo, que adapte e integre técnicas de minería de procesos en sistemas de información de salud, para detectar variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios y apoyar su gestión.

El **campo de acción**: se delimita a las técnicas de minería de procesos para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios y se desglosa el objetivo general en los siguientes **objetivos específicos**:

1. Construir el marco teórico referencial de la investigación, relacionado con la gestión por procesos en instituciones de salud y la minería de procesos.
2. Realizar un diagnóstico para valorar la detección de variabilidad de los procesos hospitalarios en instituciones cubanas.
3. Seleccionar técnicas de minería de procesos para la detección de variabilidad en

la ejecución de los procesos hospitalarios.

4. Desarrollar un modelo para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.
5. Implementar el modelo propuesto en un Sistema de Información Hospitalaria.
6. Validar el modelo propuesto a partir de los métodos definidos en la investigación.

Según lo expuesto, y derivada de la construcción del marco teórico referencial de esta investigación se plantea la siguiente **hipótesis de investigación**: con un modelo, que adapte e integre técnicas de minería de procesos en sistemas de información de salud, es posible detectar variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios y apoyar su gestión.

Para dar cumplimiento a los objetivos propuestos, se han combinado diferentes métodos y procedimientos teóricos y empíricos, en la búsqueda y procesamiento de la información. Los fundamentales son:

Métodos teóricos:

Hipotético - Deductivo: permitió definir la hipótesis de la investigación y proponer nuevas líneas de trabajo a partir de resultados parciales relacionados con la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

Análisis - Síntesis: permitió descomponer el problema de investigación en el análisis por separado de las anomalías que representan variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios desde sus sistemas informáticos, para luego sintetizarlos en la integración de técnicas de minería de procesos de forma coherente en la solución general del problema planteado.

Modelación: con el fin de explicar por qué los conceptos seleccionados son los que más se ajustan a los escenarios donde se debe aplicar la solución para detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

Sistémico: para lograr que todos los elementos de la estructura y concepción de la solución funcione como un todo, lo que representa la expresión de su comportamiento.

Histórico - Lógico y dialéctico: permitió realizar un estudio crítico del comportamiento y evolución de las diferentes posiciones respecto a los modelos de minería de procesos, las guías y estándares para los análisis de procesos hospitalarios. Permitió la utilización de trabajos anteriores como puntos de referencia y comparación de los resultados alcanzados.

Métodos empíricos:

Análisis de documentos: en la consulta de la literatura especializada, con el objetivo de extraer la información necesaria para definir los escenarios que deben cubrir los modelos de detección y análisis de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

Grupo Focal: Se aplicó en dos momentos, un grupo focal exploratorio para analizar la necesidad, el impacto, la pertinencia y actualidad de la propuesta. En el segundo grupo se validó el modelo respecto a su capacidad para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios y los beneficios de su aplicación.

Experimentación: para evaluar en la práctica la validez del modelo para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

Entrevista a profundidad: Para evaluar los beneficios económicos y sociales de la propuesta, los principios y lo adecuado del modelo para su aplicación por especialistas de la gestión hospitalaria.

La **Novedad Científica** del trabajo se expresa en los siguientes aportes:

Aporte teórico:

- Concepción y fundamentación de un modelo para la detección y análisis de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios, que adapta e integra técnicas de minería de procesos en sistemas de información de salud.

Aportes prácticos

- Un procedimiento para detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios desde sus sistemas de información.
- Un módulo informático para la extracción y transformación de trazas en registros de eventos desde sistemas de información hospitalaria, que contribuye a la solución del desafío de usabilidad de la minería de procesos para no expertos.
- Un conjunto de técnicas de minería de procesos modificadas y adaptadas a las necesidades del entorno sanitario, para detectar la variabilidad en la ejecución de sus procesos desde los sistemas de información de salud.

Aporte social:

Contribuye a la toma de decisiones sobre importantes 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 Partido Comunista de Cuba 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.

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

En el capítulo 1 se presenta los fundamentos teóricos de la investigación, estudio y actualidad de los distintos tipos de aplicaciones para el modelado de procesos. La variedad de tecnologías y estándares presentes en la construcción de modelos de procesos y su capacidad para representar variabilidad.

En el capítulo 2 se realiza un diagnóstico de la situación actual. Se describen los componentes del modelo para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios, basado en técnicas de minería de procesos.

INTRODUCCIÓN

En el capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos como parte de la instrumentación del modelo en el sistema XAVIA HIS. Se describe y ejecuta el proceso diseñado para la validación del modelo MDV, realizando los análisis pertinentes en cada una de las actividades que lo integran. El capítulo concluye con la valoración del aporte e impacto de los resultados obtenidos.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO 1
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA
INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se exponen los conceptos fundamentales asociados al dominio del problema planteado. Los análisis, consultas y estudios realizados por el autor de esta tesis doctoral, en las áreas de Gestión por Procesos y minería de procesos, en el contexto de los servicios de salud, permitieron plantear el hilo conductor y la estructura del marco teórico-referencial de la investigación, a partir del problema científico a resolver, y sintetizado en la introducción de este documento. El examen crítico está dirigido fundamentalmente a la obtención de modelos de procesos de negocio en el sector hospitalario, y su capacidad para mostrar la ejecución real de los mismos y dejar al descubierto la presencia de anomalías que representan variabilidad.

1.1 Características de los procesos hospitalarios

Los procesos de salud han sido tratados como procesos de negocio operacionales de las organizaciones hospitalarias. Similarmente no existe una definición coherente para los procesos de salud (Rebuge, 2012; Silva 2014). Estos pueden ser clasificados en procesos asistenciales (clave) y procesos organizacionales genéricos (estratégicos y de soporte) (Dadam, Reichert & Kuhn, 2000; Rebuge, 2012). 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), desarrollo de alianzas estratégicas, gestión de las relaciones con el cliente, autoevaluación, etc. (Soler & Lombardo, 2012).

Los procesos de soporte son todos aquellos que permiten la operación de la institución sanitaria. En general son considerados como de soporte los procesos de gestión (pago

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

de nóminas, facturación, contabilidad, etc.) y algunos otros como los procesos de auditorías internas, gestión de los sistemas de información, mantenimiento, etc. (Silveira et al., 2012).

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. También propicia la variabilidad en los flujos de actividades y los tiempos de ejecución de cada proceso.

1.1.1 Variabilidad en los procesos hospitalarios

Los primeros trabajos sobre la variabilidad en la práctica clínica derivan de las observaciones realizadas por Glover en los años 30 del siglo pasado sobre las diferencias en la práctica de la amigdalectomía en niños (Glover, 1938; Glover, 2008), en las que se observaban enormes variaciones entre distintos hospitales y en el mismo hospital a lo largo del tiempo. Este autor llega a la conclusión de que la causa era la falta de uniformidad de criterios médicos acerca de las indicaciones y beneficios del procedimiento.

Es a partir de los años 70 del siglo XX cuando comienzan a aparecer los trabajos del grupo de Wennberg, de referencia obligada en la actualidad al estudiar la variabilidad en los procesos de salud. Wennberg investigó, sobre todo, la variabilidad en distintos procedimientos clínicos en el estado de Vermont, Estados Unidos (Wennberg et al., 1977). Estos autores desarrollan la metodología del análisis de pequeñas áreas bajo la influencia de un hospital y estudian la diferencia en la intensidad de la atención entre

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

las diferentes zonas, llegando a la conclusión de que la variabilidad es intrínseca al procedimiento y no al área geográfica (en ocasiones puede haber diferencias relacionadas con la epidemiología de determinada enfermedad) y que está en relación directa con lo que llaman el “estilo de práctica profesional” (Wennberg & Gittelsohn, 1973), lo cual deja un papel muy limitado a los factores relacionados con los pacientes. El origen de las variaciones puede estar definido por la incertidumbre. Por una parte se debe a la carencia de evidencia científica sobre los resultados de las diferentes alternativas de ejecución de los procesos y la aplicación de procedimientos en situaciones específicas. Por otra parte, existen evidencias sobre el valor de los procedimientos, sin embargo los profesionales de la salud lo desconocen. Los procesos de baja variabilidad se evidencian donde existe consenso en aplicar procedimientos, normas y pautas clínicas.

La variabilidad puede observarse en prácticamente cada paso del proceso asistencial y a varios niveles de agrupación: poblacional e individual. Desde un punto de vista poblacional se comparan tasas de realización de un procedimiento clínico, como pueden ser intervenciones quirúrgicas o ingresos hospitalarios en un período de tiempo. Entre áreas geográficas con poblaciones y entornos comparables también puede existir variabilidad, a partir de las características de los pacientes y del entorno.

La variabilidad es influenciada por las características de los pacientes (sexo, grupo étnico, nivel socioeconómico), de los profesionales sanitarios (especialidad, edad, sexo, formación, experiencia, sistema de pago), del hospital (tamaño, público o privado, rural o urbano, universitario o no) o del sistema sanitario (financiación, organización, cobertura) (Marión et al., 1998).

La existencia de variabilidad puede interpretarse como una evidencia indirecta de la existencia de componentes evitables en la atención sanitaria, con posibles implicaciones en los costes y resultados. Podría confirmar que cierta cantidad de

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

pacientes podrían no recibir la mejor atención sanitaria disponible, que según el profesional que le atiende, se tiene distinta probabilidad de recibir un tratamiento o servicio y que los recursos sanitarios se están utilizando inapropiadamente (Fernández-Maya, 2015).

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

La incertidumbre en la toma de decisiones clínicas no es un tema nuevo y existen muchos intentos de responder a ella. Rizzo ha analizado cuatro respuestas sistemáticas a la incertidumbre: el análisis de decisiones, los consensos profesionales, el avance científico y las estrategias dirigidas a aumentar la capacidad de los médicos de afrontar la incertidumbre. Esta actitud “intervencionista” no sólo incrementa los costos de atención, sino que hace descender su calidad y puede contraponerse a los deseos de muchos pacientes. Fox ha descrito distintas fuentes de incertidumbre: las limitaciones del conocimiento científico; la insuficiencia del conocimiento de cada médico en concreto, y la dificultad que éste encuentra para decidir si sus dudas proceden de las limitaciones del conocimiento científico disponible o de las deficiencias de su propio conocimiento.

No existe un acuerdo general sobre lo que debería considerarse variabilidad justificada o injustificada y los factores que influyen en esta última; lo que puede conducir a estrategias desde las organizaciones, diseñadas a eliminar toda clase de variabilidad, incluida aquella que ocurre por una buena razón. Según Peiró & Bernal (2006) las

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

acciones para la reducción de la variabilidad estarán en función de donde aparezca. Hasta el momento el foco de atención para la detección de variabilidad se ha dirigido a aquellas que conllevan un uso distinto de recursos, tanto por exceso como por defecto, o que tengan repercusión en la salud de los pacientes (Wennberg, 1991; Wennberg et al., 2004).

En la práctica clínica, los métodos utilizados para reducir la variabilidad han sido: las auditorías médicas, la investigación de resultados, la elaboración de guías clínicas, protocolos y vías clínicas, métodos de búsqueda de la excelencia (Benchmarking) y la evaluación económica en asistencia sanitaria. Estos métodos se ejecutan a partir de reuniones, consenso, experiencia profesional e intuición personal, por lo que suelen obtener resultados subjetivos o acercamientos a la realidad.

Un informe de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) 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 (Bárcena et al., 2013). Van der Aalst (2013) y Bárcena et al (2013) coinciden en que este gasto es influenciado principalmente por:

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

En Marión et al (1998), Asencio et al (2003) y Wennberg (2004) se recomienda, para ayudar a reducir las variaciones injustificadas y disminuir el gasto en salud, realizar las acciones siguientes:

- Poner en evidencia la variabilidad en un proceso hospitalario o la existencia de vacíos de conocimientos sobre sus resultados.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

- Estandarización de la práctica clínica tras el análisis crítico de la evidencia disponible, la opinión de expertos, diseño y diseminación de guías y la formación continuada.
- Retroalimentación de la propia práctica y los resultados obtenidos.

1.2 Gestión de Procesos de Negocio

Entre los factores más importantes para alcanzar el éxito en una investigación se encuentran la calidad y claridad de las bases conceptuales relacionadas con el dominio del problema. Con este objetivo se definen a continuación los principales conceptos tratados en el desarrollo de la presente investigación.

1.2.1 Proceso de negocio

Según la serie de normas internacionales ISO 9000 (2015) se define un proceso como *“conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”*. Estas actividades requieren la asignación de recursos tales como personal y material (NC/ISO-9000, 2005).

“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, 2013).

En Recker et al. (2006) se define como un *“conjunto de actividades parcialmente ordenadas, destinadas a alcanzar un objetivo”*. Por su parte Weske (2012) plantea que “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 la propia organización y de otras.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

La definición de Mathias Weske permite obtener analogías con respecto a su aplicación en el entorno sanitario. El autor del presente trabajo asume esta definición para el resto de la investigación, elemento clave para comprender e introducir el término de gestión basada en procesos.

1.2.2 Gestión por Procesos

La Gestión por Procesos persigue reducir la variabilidad que aparece habitualmente cuando se producen o prestan determinados servicios. Trata de eliminar las ineficiencias asociadas a las acciones o actividades y al consumo inapropiado de recursos.

Para que las organizaciones operen de manera eficaz, tienen que identificar y gestionar numerosos procesos interrelacionados y que interactúan entre sí (van der Aalst, Ter Hofstede & Weske, 2003). La identificación y gestión sistemática de los procesos empleados en la organización y en particular las interacciones entre tales procesos, se conocen como enfoque basado en procesos (NC/ISO-9000, 2005).

El enfoque basado en procesos 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, lo cual permite detectar errores y redundancias, así como gestionar los procesos interrelacionados. La Gestión por Procesos de Negocio asume, entre otros elementos, que las organizaciones son tan eficientes como lo son sus procesos (Amozarrain, 1999).

La Gestión de Procesos de Negocio permite, utilizando métodos, técnicas y software, diseñar, ejecutar, controlar y analizar procesos operacionales que involucran personas, organizaciones, aplicaciones, documentos y otras fuentes de información (van der Aalst, Ter Hofstede & Weske, 2003). También es conocida como una gestión integral que promueve la eficacia empresarial y la eficiencia mientras se esfuerza por la

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

innovación, la flexibilidad, y la integración con la tecnología (Gao, 2013). Además está creciendo como una disciplina, donde las nuevas tecnologías están emergiendo rápidamente, y mantienen 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. 1.1).

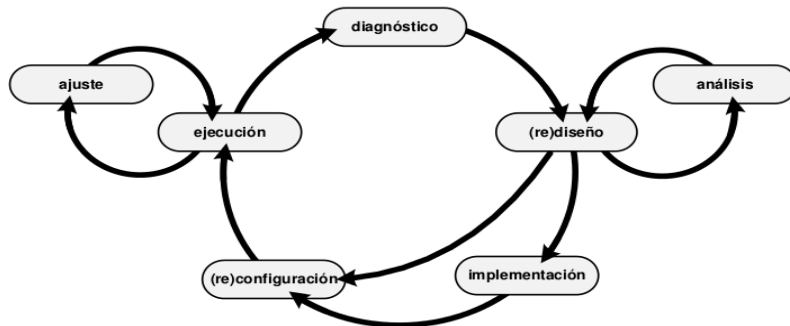


Figura 1.1. Ciclo de vida de BPM. Fuente: (van der Aalst et al., 2012).

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, es posible 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). En la mayoría de las instituciones de salud solamente se realiza la fase de (re)diseño de procesos, durante la cual la principal tarea que se realiza es la modelación (Hernández et al., 2016; Xie et al., 2016, van der Aalst, 2013b).

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.3 Modelo de proceso de negocio

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, 1962).

Las características más destacadas de un modelo son la brevedad, claridad, precisión, y su calidad gráfica (Nordsieck, 1962). Stachowiak (1973) define un modelo como el resultado de una cartografía de la simplificación de la realidad que sirve a un propósito específico. 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.

En Benghazi et al. (2011) se define que el modelado de procesos de negocio es la representación de los procesos de negocio de una empresa u organización con el objetivo de que puedan ser analizados y mejorados. Por su parte van der Aalst (2011) plantea que un modelo de proceso de negocio es una representación gráfica de interrelaciones y actividades que componen un proceso de negocio, permite describir el estado actual o previsto de dicho proceso de negocio, además son útiles para modelar la forma en que los recursos interactúan con el proceso.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

El autor de la presente investigación define que un modelo de proceso de negocio es:

Definición 1.2.3.1: La representación de un esquema teórico simplificado a partir de técnicas y herramientas especializadas, de las evidencias reales de ejecución de un sistema o de una realidad compleja, con el fin de contribuir a su comprensión y el análisis de su comportamiento.

Los elementos considerados para la elaboración de la definición fueron la actualidad, conceptos considerados de éxito, características esenciales de este tipo de definición a partir de las novedades tecnológicas, vinculación directa a las tecnologías de análisis de procesos y el limitado consenso en la adopción de una definición de modelo de proceso de negocio en el área.

Esta definición será adoptada para sustentar la investigación.

1.2.4 Comprensión y análisis de modelos de procesos

Dentro de la modelación de procesos se ha estudiado cómo pueden ser diseñados los modelos de procesos para maximizar su comprensión (Recker, Reijers & van de Wouw 2014). 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 (Mendling, Strembeck & Recker, 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, Reijers & van de Wouw 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

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

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 teoría de carga cognitiva distingue entre la carga cognitiva intrínseca y extrínseca. La intrínseca está determinada por la complejidad de la información (cantidad de elementos y sus relaciones e interacciones). En el ámbito de proceso, la carga intrínseca se refiere a la complejidad del proceso modelado y por ende está fuera del control del modelador del proceso. Mientras que la carga extrínseca está determinada por la forma en la que la información es representada y la dificultad relativa puede variar en dependencia de su representación (Kotovsky, Hayes & Simon 1985; Sanjose, Torres & Soto, 2013). Por lo que la carga cognitiva extrínseca está sujeta a las decisiones de diseño que se realizan al describir el proceso en un modelo (Figl, Recker & Mendling, 2013). Para la presente investigación la comprensión de los modelos de procesos es de interés, debido a que los especialistas hospitalarios no tienen que dominar necesariamente sus aspectos técnicos ni la complejidad estructural que puedan poseer. La comprensión de los procesos en la práctica clínica ha sido afectada por la diversidad de técnicas y notaciones que se emplean para su modelado.

1.3 Técnicas empleadas para modelar procesos hospitalarios

En la literatura se describe una 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 (modelos) 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.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Los Mapas de la Cadena de Valor (*VSM*, por sus siglas en inglés) documentan procesos que serán mejorados con los métodos de manufactura flexible (*Lean Manufacturing*), para eliminar desperdicios 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 (Dickson et al., 2009; Teichgräber & de Bucourt, 2012). El *VSM*, basado en el modelo organizacional de la producción ajustada para empresas manufactureras, es una técnica gráfica que, mediante el empleo de iconos normalizados integra en una misma figura diferentes flujos logísticos de materiales e información (Ben-Tovim et al., 2007).

Los diagramas *As-Is* se han ganado la popularidad en el mundo empresarial por su capacidad de detallar las actividades que ocurren en un proceso (Hernández, Medina & Nogueira, 2010a). 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, 1998).

El Método de Arriba-Abajo muestra los pasos principales del proceso desde los macro procesos hasta los subprocesos de cada uno jerárquicamente. Establece una serie de niveles de mayor a menor complejidad (arriba-abajo) que den solución al problema (Roth et al., 2013). El programa final queda estructurado en forma de bloque o módulos lo que hace más sencilla su lectura y mantenimiento (Hinestroza & López, 2014; Amortegui, Pomares & Torres, 2014; Bataller, 2015).

Los diagramas OTIDA 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

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

recorridas, cantidad considerada y tiempo requerido. Estas se conocen bajo los términos de operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras y almacenajes. (Gualancañay & Xavier, 2013; Hernández et al., 2013).

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. Con este diagrama se pueden hacer dos tipos de análisis, el primero, de seguimiento al hombre, donde se analizan los movimientos y las actividades de la persona que efectúa la operación. El segundo, de seguimiento a la pieza, el cual analiza las mecanizaciones, los movimientos y las transformaciones que sufre la materia prima (Martínez, 2014; Rodríguez, 2014).

Por su parte, el Diagrama de hilos muestra un modelo a escala, en el que se utiliza un hilo continuo para trazar los desplazamientos del operario, materiales o equipos. Se realiza durante una sucesión específica de acontecimientos y durante un período determinado de tiempo, con el fin de presentar la frecuencia de los desplazamientos entre diversos puntos y también para determinar las distancias recorridas (Gualancañay & Xavier, 2013; Oquendo & Zambrano, 2013; Jones, Levine & Pineda, 2014).

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

Otros estilos, enfoques o tipos de diagramas para representar procesos son los Diagramas bimanuales (Cuartas, 2012), Mapas de proceso de senda (swimlane) (Murga-Menoyo, 2011), IDEF0 (Benachi et al., 2014), IDEF03 (Ferreira et al., 2015),

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

ASME (Morales, 2014), Servucción (Jaramillo, 2014), Diagrama OPERIN (Hernández et al., 2010; Flores, 2014), 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. Estas representaciones por lo general muestran cómo debería llevarse a cabo el proceso y no cómo se está ejecutando en realidad. Obviando en muchos casos los problemas existentes en el flujo del proceso.

Se ha realizado un análisis comparativo considerando las características deseadas, para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

Luego de un análisis documental se concluye que tres de las técnicas ofrecen una vista global del proceso (diagramas AS-IS, diagramas OTIDA y minería de procesos). Adicionalmente, a excepción de los diagramas de recorrido las demás son consideradas complejas para su uso y comprensión por profesionales no expertos en el análisis de procesos (Hernández et al., 2010). Solamente los Mapas de Cadena de Valor y la minería de procesos detectan eventualidades, destacándose esta última debido a que se basa en datos reales almacenados en sistemas automatizados. La frecuencia de ejecución y el flujo de actividades son elementos de interés para la investigación y es característico de dos de las técnicas analizadas (Diagramas de recorrido y la minería de procesos) (Mans et al., 2012; Hernández et al., 2014; Fernández-Maya, 2015; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2016). 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 permite.

Los diagramas OTIDA y la minería de procesos son capaces de realizar análisis de tiempo, a diferencia del resto. El análisis de subprocessos es una capacidad de tres de las técnicas (Mapas de Cadena de valor, diagramas AS-IS y minería de procesos), lo

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

cual es una desventaja para los diagramas OTIDA 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, además es recomendada para su aplicación en la salud por diversos autores de la literatura especializada (Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Caron et al., 2014; Cho, Song & Yoo, 2014; Micio et al., 2015; Fernandez-Llatas et al., 2015; Rovani et al., 2015; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015).

1.4 Minería de procesos

Las trazas de ejecución de los procesos en sistemas automatizados, constituyen una valiosa fuente de información para el modelado y análisis del funcionamiento de los mismos. Una traza está compuesta por una secuencia de eventos ordenados según su ocurrencia y los eventos dentro de una traza pertenecen a la misma instancia de proceso (Pérez, 2014). Las técnicas de minería de procesos asumen que es posible registrar estos eventos secuencialmente tal que cada evento se refiera a una actividad (van der Aalst et al., 2012). La Figura 1.2 representa un fragmento de la información que contiene un registro de 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 1.2. Fragmento de la información de un registro de eventos. Fuente: elaboración propia.

El resultado del almacenamiento de las actividades de un proceso, ejecutadas en un período determinado de tiempo, se le denomina registro de eventos (van der Aalst et al., 2012); donde cada proceso está compuesto por casos, los cuales son instancias del mismo. Los casos contienen atributos o propiedades, además de estar compuestos

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

por eventos que representan pasos bien definidos dentro del proceso (van der Aalst, 2011). Para diferenciar los casos y los eventos, a cada uno se le asigna un identificador, mientras que los atributos de cada evento ayudan a extender el modelo con información complementaria. Los registros de eventos son el punto de partida para la aplicación de técnicas de minería de procesos.

El concepto Minería de Procesos surgió hace menos de dos décadas (Agrawal, Gunopulos & Leymann, 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 define la Minería de Proceso 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 que incluyen la minería de procesos se destacan la referente al control de flujo, a los casos, al tiempo, organizacional, entre otras (van der Aalst, 2011).

La perspectiva de control de flujo se enfoca en el orden de ejecución de las actividades, su objetivo es encontrar una 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.

La aplicación de la minería de procesos debe ser guiada y controlada coherentemente

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

para obtener resultados satisfactorios, debido a esto se han desarrollado un conjunto de modelos que favorecen los proyectos de investigación.

1.4.1 Modelos para guiar los proyectos de minería de procesos

En la literatura consultada destacan cinco modelos propuestos dentro del campo de la minería de procesos. Estos definen una serie de pasos para preparar el registro de eventos y aplicar las técnicas para el modelado y análisis.

El modelo de Rozinat (Rozinat et al., 2009) se desarrolla con el objetivo de extraer información clave (de los datos, el rendimiento y la organización). Esta información puede ser usada para la creación de un modelo de simulación, y permite visualizar las dependencias entre las técnicas de minería de procesos a utilizar. Cuenta con seis fases que guían los proyectos de investigación (ver Anexo 1). Como elementos particulares de este modelo se destacan el análisis de puntos de decisión (Fase 3) a partir de la perspectiva de datos, el análisis de rendimiento (Fase 4) y el descubrimiento de roles (Fase 5) con minería organizacional.

El Modelo de Bozkaya (Bozkaya, 2009) se desarrolla con el objetivo de ofrecer una visión general de los procesos dentro de los sistemas de información actuales en un corto período de tiempo. Está compuesto por seis fases entre las que se destacan la inspección del registro de eventos (fase 2), el análisis del flujo de actividades (fase 3) y mostrar los resultados al cliente (fase 6) (ver Anexo 2). La fase 6 propone tratar los resultados directamente con el jefe de la organización, quien determina cuáles fueron los comportamientos deseados y no deseados en el sistema. Luego utiliza todo este conocimiento para rediseñar su sistema de información y hacerlo más eficiente y competitivo.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

El modelo de van Giessel (van Giessel, 2004) está dirigido a la aplicación de la minería de procesos en un sistema SAP¹. Está compuesto por dos fases fundamentales y cinco pasos (ver Anexo 3). En la fase 1 se determina cuáles tablas son relevantes a través de los objetos de negocio. Se establece un enlace entre los objetos de negocio y el proceso de negocio, mediante componentes de la aplicación. Esta fase está parcialmente automatizada por la herramienta *Table Finder*.

En la segunda fase se recupera el flujo del documento. Primeramente se localizan los datos de las tablas y se extraen. La recuperación se realiza mediante la agrupación de todos los datos que tienen el mismo número de documento o que están relacionados unos con otros. Cuando todos los datos relacionados se agrupan, se recupera el flujo de documentos que al final se exporta en un archivo XML. Una vez terminadas estas dos fases se procede a aplicar técnicas de minería de procesos. Van Giessel propone la aplicación de las herramientas *EMiT* y *Little Thumb* para generar los modelos de procesos, la primera centrada en el tiempo y la segunda en el ruido.

El modelo L* hace una descripción del ciclo de vida (L*) propuesto por van der Aalst (van der Aalst, 2011) para un proyecto de minería de procesos. Está compuesto por cinco etapas (ver Anexo 4), entre las que se destaca planificar y justificar (Etapa 0), crear un modelo de proceso integrado (Etapa 3). Esta etapa propone extender el modelo de procesos incorporándole nuevas perspectivas (organizacional, tiempo casos y otras). Una etapa de relevancia es apoyo a las operaciones (Etapa 4), esta etapa cumple con los objetivos de la minería de procesos, que son las actividades de apoyo operativo: detectar, predecir y recomendar; se debe tener en cuenta que esta es la forma más ambiciosa de la minería de procesos. Para poder alcanzar las etapas 3 y 4 es necesario tener un proceso suficientemente estable y estructurado.

¹ Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de datos.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

El Caso de estudio de Jans no se encuentra estandarizado como modelo, pero constituye un ejemplo para guiar una investigación de minería de procesos (Jans, 2011). Está constituido por tres pasos y cuatro tareas (ver Anexo 5). Se destaca la caracterización del proceso (Paso 1), donde plantea la necesidad de realizar un análisis exhaustivo del proceso, en el que se recogen todos los datos relevantes y se crea un mapa de dicho proceso. Este mapa consta de cuatro componentes: objetivos del proceso, actividades, flujos de información y contabilidad del impacto. La tarea cuatro del paso tres propone realizar un análisis de redes sociales entre los empleados que participan en el proceso, con el objetivo de comprender mejor la interacción entre las funciones y actividades para las transacciones anómalas.

Valoración de los modelos para guiar los proyectos de minería de procesos

La tabla 1 muestra un resumen de las principales características deseadas para el análisis de procesos hospitalarios utilizando los modelos descritos anteriormente. La selección de las características se basó en un conjunto de publicaciones sobre la aplicación de los modelos en casos de estudio y análisis de procesos (Dumas et al., 2005; Bozkaya et al., 2009; van der Aalst, 2011; Kirchner et al., 2012; Binder et al., 2012; Rebugue, 2012; Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Cho, Song & Yoo, 2014; Micio et al., 2015; Fernández-Llatas et al., 2015; Partington et al., 2015; Rojas et al., 2016). En el caso de las características tres, siete y nueve constituyen requerimientos del contexto hospitalario, debido a que son orientadas a la aplicación de la minería de procesos por usuarios no expertos. La característica 12 es incorporada por el autor de la investigación debido a la importancia de evaluar el impacto de la aplicación de los modelos en las instituciones hospitalarias.

Tabla 1. Criterios de comparación de los modelos para aplicar minería de procesos.

	Características	Jans	Giessel	Rozinat	Bozkaya	L*
1	Enfoque de análisis					X

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2	Diagnóstico preliminar			X	X	X
3	Considera profesionales no expertos					
4	Análisis a partir de tipo de proceso				X	X
5	Caracterización del proceso de negocio			X	X	X
6	Análisis con el cliente				X	X
7	Método de extracción del registro		X		X	X
8	Herramientas para el análisis		X			
9	Especificación de las técnicas a utilizar			X	X	
10	Análisis de rendimiento		X	X	X	X
11	Análisis de la perspectiva organizacional	X	X	X	X	X
12	Retroalimentación de los resultados					X
13	Procedimiento para analizar el proceso					X
14	Elaborado para un dominio de aplicación		X			

Los modelos no se enfocan en el uso de técnicas específicas, sino que permiten aplicar una gran variedad de estas, lo cual dificulta la realización de análisis para los no expertos si se considera que existen más de 600 técnicas desarrolladas. Todos los modelos permiten realizar análisis desde una perspectiva organizacional, lo que supone una ventaja para los administrativos, sin embargo no especifican cómo hacerlo. Son modelos elaborados para proyectos de minería genéricos, lo cual obvia particularidades de los procesos en el sector de la salud.

Solo la propuesta de van Giessel se centra en un dominio de aplicación y propone una herramienta para el análisis de los procesos, el resto no especifica herramientas tanto para extraer registros de eventos como para obtener modelos de procesos. Un aspecto importante a destacar es que solo el modelo de van der Aalst permite retroalimentar los resultados, lo cual permite cerrar el ciclo del modelo y evaluar el impacto de los resultados.

En la bibliografía consultada se evidencian al menos 12 investigaciones que adaptan estos modelos o fases de los mismos para guiar sus estudios, entre ellas Lakshmanan,

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Rozsnyai & Wang (2013), Caron (2014), Cho, Song & Yoo (2014), Micio et al. (2015) y Fernández-Llatas et al. (2015). Rebuge (2012) y Rojas et al. (2016) coinciden en que la aplicación de un modelo u otro está condicionado por la experiencia en el empleo de las técnicas de minería de procesos. Esto limita el uso de la minería de procesos en su estado actual por profesionales de la gestión hospitalaria. A partir de los argumentos presentados, el autor de la investigación no recomienda los modelos anteriores para el análisis de los procesos hospitalarios, debido a las dificultades que poseen para su utilización por profesionales de este sector.

1.4.2 Herramientas para la aplicación de minería de procesos

Después de realizar una búsqueda de sistemas automatizados para el análisis de modelos de procesos, 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. Su aplicación fundamental radica en las auditorías a sistemas y el control del flujo de información.

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 y la minería de decisión (van der Aalst, 2011; Verbeek & Bose, 2010). La herramienta requiere experiencia en minería de proceso 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 es una aplicación completa de Minería de Procesos desarrollada por Fluxicon en 2009, es la herramienta más usada dentro de las privadas, posee una licencia gratuita limitada con fines académicos. Implementada con el objetivo de ser una herramienta

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

profesional para el apoyo a las organizaciones en el control de sus procesos. Ha sido diseñada para hacer la importación de datos por las marcas de tiempo de detección automática, recordando los valores de configuración, y por la carga de los conjuntos de datos con alta velocidad. También es totalmente compatible con las herramientas académicas ProM 5 y 6 (Günther & Rozinat, 2012).

ARIS Process Performance Manager (ARIS PPM) es una herramienta desarrollada por Software AG, la cual permite a las empresas supervisar y analizar el rendimiento y la estructura de sus procesos empresariales. ARIS PPM optimiza continuamente los flujos de trabajo internos y externos, realizando de este modo una contribución crucial para el éxito de la empresa. (Fischer, 2008; van der Aalst, 2013c).

La herramienta *Discovery Analyst* fue desarrollada por *StereoLOGIC*, extrae los procesos de negocio de las aplicaciones en tiempo real, con el objetivo de crear modelos de procesos en la notación BPMN. Estos modelos son aplicados con fines de visualización, comparación, validación y ampliación de los mismos (van der Aalst, 2013d).

QPR ProcessAnalyzer es un software comercial automatizado de descubrimiento de procesos, el cual permite a la 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; van der Heijden, 2012). En el sector de la salud se evidencian avances al respecto, en los últimos tres años han surgido nuevas herramientas, algunas de ellas consideradas prototipos. En la literatura consultada se destacan *Asthma Flow (Prototype Interactive Visual Analytics Tool)* (Kumar et al., 2014), *PALIA ILS Suite Web Tool* (Fernandez-Llatas et al., 2015),

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

Business Process Insight Platform (Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013) y *Emotiva Tool* (Fernández-Llatas et al., 2013). Aunque estas herramientas han realizado avances en cuanto a la usabilidad para los no expertos, aún conservan deficiencias debido a que son externas a los sistemas HIS, provocando la descentralización de las tecnologías.

La descentralización de las tecnologías se refiere al uso por separado de herramientas, sistemas y tecnologías que son habitualmente de necesario uso por los profesionales de la salud. La descentralización tecnológica implica la reestructuración de los siguientes aspectos: distribución y fortalecimiento de la infraestructura de telecomunicaciones y sistemas de información, normatividad, presupuesto operativo y de inversión, procesos de toma de decisiones, estructuras jerárquicas, etcétera. Por lo que un número importante de expertos en gestión tecnológica, no apuestan a la descentralización de las tecnologías en espacios o esferas sociales donde los usuarios o consumidores no son expertos en las mismas.

Esto trae consigo que los usuarios tengan que aprender e interactuar con diferentes herramientas al mismo tiempo, todas con características diferentes, lo cual propicia la ocurrencia de errores en el tratamiento de información clínica, toma de decisiones equivocadas o erróneas. En la literatura especializada sobre el tema y vinculada a la minería de procesos varios autores indican la complejidad de la aplicación de esta tecnología en el entorno sanitario. Mans, van der Aalst & Vanwersch (2015) y Rojas (2016) afirman que la tendencia debe ser la integración de la minería de procesos en sistemas de información de salud para su uso por especialistas de la gestión hospitalaria, y así expandir las fronteras de aplicación de esta tecnología.

1.5 Minería de procesos en el entorno hospitalario

Se realizó una revisión de las investigaciones de minería de procesos dirigidas al entorno hospitalario. Para ello la búsqueda se centró en tres bases de datos generales:

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

"Web of Science", "PubMed" y "Google Scholar", utilizando las frases "minería de procesos", "process mining", "salud" y "healthcare". En la "Web of Science" fueron identificadas 32 investigaciones de interés, en el caso de "PubMed" 17 y en "Google Scholar" más de 60. Fueron identificados además, un conjunto de 59 casos de estudio, en el repositorio de análisis de procesos hospitalarios, en la Universidad de Eindhoven en Holanda.

Varios autores realizan análisis de control de flujo en actividades de procesos asistenciales (Mans et al., 2008; Lang et al., 2008; Bose & van der Aalst, 2011; Mans et al., 2012; Rebuge & Ferreira, 2012). También se destacan los análisis de rendimiento de los procesos, y se centran en el análisis de conformidad (Mans et al., 2008; Mans et al., 2008a; Zhou, 2009; Bose & van der Aalst, 2011; Mans et al., 2012) (Zhou, 2009; Grando, van der Aalst & Mans, 2011; Kirchner et al., 2012; Grando, Schonenberg & van der Aalst, 2013) y desde la perspectiva organizacional de minería de procesos (Mans et al., 2008; Bose & van der Aalst, 2011; Mans et al., 2012; Kim et al., 2013).

Las herramientas más utilizadas han sido ProM (31 de los casos de estudio), Disco (8 de los casos de estudio) y RapidProM (1 caso de estudio). Fueron identificadas metodologías basadas en el agrupamiento de actividades de procesos (Bozkaya, Gabriels & van der Werf, 2009; Rebuge & Ferreira, 2012; Caron, Vanthienen & Baesens, 2013), basadas en el modelo de Ciclo de vida L* (Binder et al., 2012; Partington et al., 2015) y metodologías *Had-Hoc* (Caron et al., 2014; Cho, Song & Yoo, 2014).

Dumas et al. (2005), Rebuge & Ferreira (2012) y Kaymak et al. (2012) especifican la existencia de 2 tipos de procesos hospitalarios: asistenciales y organizacionales (soporte). Los procesos asistenciales son los responsables de la gestión del paciente, incluyen las actividades desde el diagnóstico, transitando por las acciones de tratamiento de enfermedades, hasta que concluye el proceso. Los procesos de soporte

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

u organizativos se centran en la captura de información de los profesionales y las unidades organizativas, incluyendo las tareas de asignación y la gestión de los recursos.

El 67 % de las investigaciones analizadas, incluyendo los casos de estudio, realizan análisis de tiempos de ejecución de las actividades, identificación de cuellos de botella, sincronización de actividades y detección de desviaciones en el flujo de los procesos. Además, obtienen una vista de la ejecución global del proceso y diferentes variantes de ejecución de un mismo proceso.

A partir del análisis realizado fue posible identificar las áreas hospitalarias de mayor interés en los casos de estudio. La Figura 1.3 resume 17 especialidades de la salud y la cantidad de casos de estudios involucrados en cada uno. Las áreas más destacadas son Oncología (8), Cirugía (8), Emergencias (5), Atención ambulatoria (5) y Radioterapia (5), este análisis demuestra el carácter multidisciplinario de la minería de procesos en este sector social.

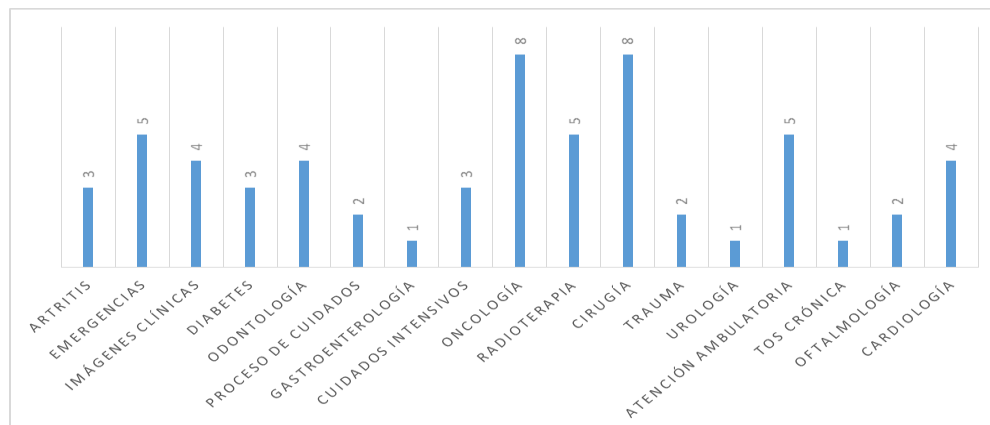


Figura 1.3. Investigaciones de minería de procesos por áreas hospitalarias. Fuente: elaboración propia.

Algunos de los estudios definen o especifican sus propios pasos para aplicar minería de procesos (Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Caron et al., 2014; Cho, Song & Yoo, 2014; Micio et al., 2015; Fernandez-Llatas et al., 2015). Ninguno es dirigido a un dominio específico de aplicación; pueden ser utilizadas en cualquier sector además de

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

la salud. El desarrollo de metodologías, procedimientos y modelos para aplicar minería de procesos en la salud serían deseables, incluso para áreas específicas del entorno sanitario (Rojas et al., 2016).

Se evidencia la aplicación de la minería de procesos a partir de la información contenida en Sistemas de Información Hospitalaria HIS (Kelleher et al., 2014; Mans, Antonelli & Bruno, 2015; van der Aalst & Vanwersch, 2015; Rovani et al., 2015; Forsberg, Rosipko & Sunshine, 2016). En 18 de los casos de estudio se plantean dos desafíos con respecto a los HIS: la extracción de los datos para generar registros de eventos y la necesidad de entender las herramientas, técnicas y algoritmos disponibles para realizar los análisis.

Existen casos en que la extracción de registros de eventos se realiza a partir de desarrollos a la medida en los HIS (Caron et al., 2014). Esto facilita el proceso de obtener el registro de eventos a partir de consultas a las fuentes de datos, sin embargo, continúa la necesidad de conocer las técnicas de minería de procesos para su correcta aplicación.

En cuatro casos se conectan las fuentes de datos, se extraen los registros de eventos y se aplican técnicas de minería de procesos, funcionando de manera integrada (Quaglioni, 2008; Lakshmanan, Rozsnyai & Wang, 2013; Kumar et al., 2014; Fernandez-Llatas et al., 2015). Esta forma de análisis tiene la ventaja de que no requiere conocimientos para la extracción de registro de eventos, además de las herramientas y técnicas de minería de procesos. Sin embargo, no se evidencia la integración de los elementos necesarios para realizar minería de procesos desde un HIS.

Las regiones geográficas más destacadas en las investigaciones son Europa (más del 68 %), Norte América, Asia y Australia, no así en América Latina y África. Los países de mayor aporte en Europa son Holanda, Alemania y Bélgica; por Asia se destaca China.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

La aplicación de la minería de procesos en otras esferas demuestra su efectividad para detectar funcionamientos anómalos, como la desviación de recursos, el exceso en el tiempo de estancia de un producto en un almacén o su ausencia, así como, las variaciones entre la realidad y lo que debe ser (van der Aalst et al., 2007; Yzquierdo, 2013; Jans, Alles & Vasarhelyi, 2013; Accorsi, Stocker & Müller, 2013; van Dongen & Shabani, 2015).

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, desviación típica, varianza, entre otros (Hernández et al., 2010; Marinov et al., 2011; Hernández et al., 2014; Sharma & Mansotra, 2014). Desde la minería de procesos estos análisis se evidencian en Dunkl et al. (2011), Rebuge (2012), Bouarfa & Dankelman (2012), Suriadi et al. (2014), Montani et al. (2013), Rebuge et al. (2013), Rovani et al. (2015) y Mans, van der Aalst & Vanwersch (2015).

Para la presente investigación, los elementos descritos anteriormente se proponen como criterios para la selección de técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad en procesos hospitalarios. La decisión es apoyada a partir de los análisis que se realizan en la práctica clínica y en el epígrafe 1.1 de esta tesis. En las investigaciones realizadas se evidencia como estos criterios son abordados desde la minería de procesos para obtener conocimientos de la ejecución de los procesos hospitalarios.

Las técnicas más utilizadas para el análisis de procesos hospitalarios son *Heuristics Miner*, identificada en 19 investigaciones para análisis de control de flujo y obtener una vista global del proceso (Fei et al., 2008; Lang et al., 2008; Zhou, 2009; Kaymak et al., 2012; Montani et al., 2013; kim et al., 2013; Suriadi et al., 2014; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015; Fernandez-Llatas et al., 2015). Y La técnica *Fuzzy Miner*, utilizada

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

en al menos 15 investigaciones para el agrupamiento (*clustering*) de actividades, tratamiento del ruido y de excepciones y los análisis de frecuencia de ejecución (Gunther et al., 2008; Mans et al., 2008; Zhou, 2009; Bose & van der Aalst, 2011; Kirchner et al., 2012; Kim et al., 2013; Montani et al., 2014; Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015).

Son utilizadas además las técnicas *Trace Clustering* (Gunther et al., 2008; Caron et al., 2014; Delias et al., 2015), *Performance* (Mans et al., 2008; Zhou, 2009; Montani et al., 2013; Partington et al., 2015), *Alpha Miner* (Riemers, 2009; Zhou, Wang & Li, 2014), *Dotted Charts* (Staal, 2010; Mans et al., 2012), *Genetic Miner* (Lang et al., 2008; Fei et al., 2008), *Inductive Miner* (Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015) y otros (Meneu et al., 2013; Partington et al., 2015; Rattanavayakorn & Premchaiswadi, 2015; Forsberg, Rosipko & Sunshine, 2016). En la Tabla 2 se presenta la correspondencia de los análisis de procesos hospitalarios con las investigaciones de minería de procesos.

Tabla 2. Investigaciones de minería de procesos que aplican o proponen los criterios para el análisis de procesos hospitalarios. Fuente: elaboración propia.

Criterios	Investigaciones de minería de procesos				
	Mans, 2011	Aalst, 2011	Rebuge, 2012	Mans, 2015	Rojas, 2016
Análisis de frecuencia	X	X	X	X	X
Análisis de subprocesos	X		X	X	
Detección de desviaciones	X	X	X	X	X
Detección de fraudes	X	X		X	
Análisis de tiempo	X	X	X	X	X
Cuellos de botella	X		X	X	X
Vista global del proceso	X	X	X	X	X

En la presente investigación se incluye además dos nuevos criterios a tener en cuenta: la comprensión de los modelos y el uso de los valores por defecto de los parámetros de configuración de las técnicas de minería de procesos, orientados a la usabilidad de las mismas por usuarios del dominio sanitario. La evaluación de los dos criterios se

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

basó en una encuesta desarrollada por Claes & Poels (2013) en la red LinkedIn, la cual 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 el Anexo 6, destacándose entre las más de 600 existentes, las técnicas *Heuristics Miner*, *Fuzzy Miner* y los análisis de tiempo con *Dotted Chart Analyzer*.

Así mismo, se les solicitó 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. El Anexo 7 indica que los encuestados favorecen a las técnicas *Alpha*, los análisis de tiempo a partir de *Dotted Chart*, *Fuzzy Miner*, *Heuristics Miner* y *Replay e log on Petri Net for Conformance Analysis*.

La técnica *Inductive visual Miner* (IvM) es desarrollada en 2014 (Leemans, Fahland & van der Aalst, 2014); actualmente es considerada una de las más usadas en las investigaciones de minería de procesos (Mans, van der Aalst & Vanwersch, 2015). Genera modelos de procesos animados en una notación inspirada en la BPMN, lo cual contribuye a mejorar el entendimiento de los mismos por parte de los usuarios ajenos a la Minería de procesos. Estos modelos permiten apreciar con mayor facilidad la formación de cuellos de botella y las desviaciones de los procesos que se modelan, además de las actividades frecuentes e infrecuentes que los componen.

La Minería de Variantes (*Variants Miner*) es desarrollada en 2014 y 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

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

comportamientos ausentes del registro (Pérez, 2015). Debido a las características de los procesos hospitalarios, en cuanto a las variaciones que poseen, esta técnica se considera interesante por su capacidad de mostrar las diversas variantes alternativas de la ejecución de un proceso.

La técnica *Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance* (en lo adelante “*Replay P/C*”) es una técnica de chequeo de rendimiento y conformidad que contribuye a identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos. Está directamente relacionada con el análisis temporal y clasifica las actividades según su desviación con respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones (Adriansyah, 2012). Entre sus características se encuentra: extraer información de tiempo, detectar problemas, detectar cuellos de botella y generar modelos integrados mostrando información de los tiempos de ejecución, estadía, espera y desviación típica (Adriansyah & van der Aalst 2012).

La Tabla 3 muestra cinco 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 más frecuentes para el análisis de procesos hospitalarios. Fuente: elaboración propia

Criterios	Técnicas de minería de procesos				
	Heuristics Miner	Fuzzy Miner	Inductive visual M.	Variants Miner	Replay P/C
Análisis de frecuencia	X	X	X	X	
Análisis de subprocesos	X	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		X
Vista global del proceso	X		X	X	X
Comprensión	X	X	X	X	X
Valores por defecto	X	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

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

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. *Replay P/C* es útil para identificar cuellos de botella y realizar análisis de rendimiento. Todas las técnicas son multicriterios lo que propicia realizar análisis desde diferentes perspectivas.

1.6 Conclusiones del capítulo

- La detección y reducción de variabilidad es importante para el ahorro, gestión y control de los recursos, así mismo, propicia la estandarización de procedimientos y servicios que se brindan a los pacientes.
- Existen varias tecnologías, métodos, metodologías y modelos para analizar procesos hospitalarios, sin embargo en su mayoría son costosas en tiempo y conocimientos para su uso por profesionales de la salud.
- Las soluciones que se presenten para detectar variabilidad deben estar enfocadas a obtener resultados rápidos, sistemáticos, con el mínimo de esfuerzos y acorde a las nuevas tecnologías.
- Se evidencia en la investigación la utilidad, novedad y actualidad de usar las técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad e identificar problemas en la ejecución de los procesos desde sistemas de información de salud; así como su alineación a las tendencias internacionales hacia la medicina basada en evidencias.

CAPÍTULO 2

MDV: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN PROCESOS HOSPITALARIOS

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

CAPÍTULO 2. MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN PROCESOS HOSPITALARIOS

En el presente capítulo se realiza un diagnóstico sobre la importancia de la detección de variabilidad en procesos hospitalarios en instituciones cubanas. A partir de las insuficiencias y limitaciones identificadas se propone el modelo MDV, el cual integra un conjunto de técnicas de minería de procesos que supera la problemática planteada en la investigación.

2.1 Diagnóstico sobre la variabilidad en procesos hospitalarios en Cuba

Un diagnóstico es el proceso mediante el cual se lleva a cabo un análisis para recopilar información que ayude a determinar la situación actual de la organización y detectar sus áreas de mejoramiento. Mediante un diagnóstico se trata de focalizar y evaluar un conjunto de variables que juegan un importante papel en la comprensión, predicción y control del comportamiento de un fenómeno determinado (Shull, Singer & Sjoberg, 2008).

En la actualidad existen instituciones hospitalarias en Cuba que brindan servicios a un gran número de pacientes y gestionan considerables cantidades de recursos. Se han diseñado, elaborado e implementado diferentes mecanismos para el control y la correcta distribución de los recursos en las instituciones, sin embargo la práctica clínica es heterogénea en su definición y dificulta la identificación de diferentes problemas asociados a la ejecución de sus procesos. Se evidencia en las investigaciones realizadas la ausencia de centros o departamentos de investigación que estudien a profundidad estos temas, lo cual dificulta la producción de documentos que nutran su estado actual en Cuba. Es por ello que la presente investigación se planteó la realización de un diagnóstico que permita profundizar lo antes planteado.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

2.1.1 Materiales y métodos

Para realizar el diagnóstico de la presente investigación se efectuaron entrevistas y se aplicaron encuestas a 49 especialistas con experiencia en la gestión hospitalaria, médicos administrativos, funcionarios de salud, estadísticos, asesores de registros médicos y jefes de especialidades, relacionados con la actividad del objeto de estudio (Anexo 8). Para ello fueron seleccionados 11 centros pertenecientes al Ministerio de Salud Pública (MINSAP), en las provincias La Habana, Matanzas y Sancti Spíritus. La Tabla 4 resume lo antes descrito.

Tabla 4. Distribución de encuestados del sector hospitalario para el diagnóstico de la investigación.
Fuente: elaboración propia.

Institución	Provincia	Cantidad
Clínica Central Cira García	La Habana	6
Hospital Hermanos Ameijeiras	La Habana	11
Centro Nacional de Cirugía de Mínimo Acceso	La Habana	4
Hospital Naval Luis Díaz Soto	La Habana	5
Hospital Militar Central Dr. Carlos Juan Finlay	La Habana	5
Hospital Docente Dr. Diego Tamayo	La Habana	4
Centro de Inmunología Molecular	La Habana	2
Hospital Pediátrico Dr. Juan Manuel Márquez	La Habana	2
Hospital Pediátrico Eliseo Noel Caamaño	Matanzas	4
Dirección Municipal de Salud Pública	Sancti Spíritus	3
Hospital Provincial Camilo Cienfuegos	Sancti Spíritus	3

Además, fueron encuestados 29 analistas de procesos de negocio de 5 universidades y centros científico técnicos (Anexo 9). Para ello se utilizó como espacio la IIX Escuela Internacional de Invierno de la Universidad de las Ciencias Informáticas, que reúne profesionales cubanos y extranjeros. La encuesta estuvo dirigida a los profesionales matriculados al curso de postgrado “Introducción a BPM”. La Tabla 5 resume lo antes descrito. La confiabilidad del instrumento fue validada por el *coeficiente Alpha de Cronbach*, y el procedimiento dos mitades a partir de la *Correlación de Pearson* y el

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

índice de corrección Spearman-Brown, el Anexo 10 muestra los detalles. Los resultados arrojados por estas técnicas estadísticas para los especialistas hospitalarios fueron 0.78 y 0.83; para el caso de los analistas de proceso 0.70 y 0.71 respectivamente, lo cual demuestra una alta confiabilidad de los datos procesados. Las bases para la aplicación de las técnicas antes mencionadas fueron consultadas en casos de estudio publicados (Cabanach et al., 2015; Maroco & Garcia-Marques, 2013; Riaño & Palomino, 2015).

Tabla 5. Distribución de los analistas de procesos encuestados para el diagnóstico de la investigación.
Fuente: elaboración propia.

Institución	Provincia	Cantidad
Universidad de las Ciencias Informáticas UCI	La Habana	16
Empresa de Tec. de la Inf. Para la defensa XETID	La Habana	6
Universidad Central M.A. de las Villas	Villa Clara	3
Ciudad Universitaria José Antonio Echeverría	La Habana	2
Empresa de Tecnologías de la Información ETI	La Habana	2

El objetivo principal del diagnóstico fue evaluar el estado e importancia que se le otorga a la gestión por procesos en instituciones sanitarias, así como el impacto que tiene la variabilidad en su ejecución. Además se examinó la capacidad que tienen los profesionales de la salud en utilizar las tecnologías, técnicas y métodos tradicionales para detectar variabilidad en los procesos hospitalarios. Por último, se exploró sobre las causas que provocan la no utilización de la información contenida en los sistemas de información de salud para los análisis que realizan los directivos hospitalarios.

Para el diagnóstico se utilizó el método de investigación acción, entrevistas, encuestas, el análisis de campos de fuerzas, grupo focal, el diagrama causa-efecto y el estudio de casos.

Entre los aspectos analizados se encuentran:

- a) Importancia que se le otorga a la variabilidad en la práctica clínica.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

- b) Cumplimiento de los protocolos, procedimientos, guías clínicas y documentos rectores para el control y gestión de los procesos y la reducción de la variabilidad.
- c) Grado de conocimientos sobre las tecnologías, técnicas y métodos para analizar procesos y detectar variabilidad en su ejecución.
- d) Interés de las instituciones sanitarias para detectar variabilidad.

El análisis de los aspectos anteriores se realizó a partir de las problemáticas detectadas al aplicar los métodos y técnicas de investigación planteadas previamente, lo cual se describe a continuación:

Encuestas: Se realizaron encuestas aplicando un grupo de cuestionarios previamente elaborados con lo que se conoció la valoración de expertos con respecto a temas relacionados con el objeto de estudio.

Entrevista a profundidad: Fue realizada a varios asesores de registros médicos con experiencia en el análisis de procesos hospitalarios.

Grupo Focal: Se aplicó la técnica a un grupo de nueve especialistas empleando una guía de preguntas y con la participación de un moderador.

Investigación acción: Constituyó un método decisivo en el proceso de identificación del problema específico que se trata de resolver mediante la acción. Resultó muy importante su aplicación para detectar las principales causas que limitan la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

Observación Participante: El autor de la investigación fue participante activo en una gran parte de los procesos desarrollados.

2.1.2 Resultados del diagnóstico

A pesar del reconocimiento de la comunidad científica sobre la importancia y necesidad de detectar la variabilidad en los procesos hospitalarios, esta concepción no ha logrado imponerse debido a la existencia de un conjunto de dificultades y deficiencias que

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

fueron identificadas en el diagnóstico realizado. A continuación se describen los principales resultados obtenidos:

a) Importancia que se le otorga a la variabilidad en la práctica clínica.

Según las encuestas realizadas se pudo comprobar que de un total de 49 especialistas de la gestión hospitalaria y 29 analistas de procesos, el 79.3% de los analistas de procesos y el 100% de los especialistas en la gestión hospitalaria han realizado análisis de procesos. El 96.5% y 97.9% respectivamente coinciden en que la variabilidad influye negativamente sobre el presupuesto económico y el proceso de atención.

El 100 % de los analistas de procesos y el 98% de los profesionales de la salud consideran que no es posible aportar efectivamente a la planificación, control y gestión de los recursos sin detectar y reducir la variabilidad. Mientras que el 93.1% de los analistas de procesos y el 97.9% de los profesionales de la salud consideran que es muy importante contemplar la variabilidad en los análisis de los procesos hospitalarios. En general, los encuestados consideran que el correcto funcionamiento de los procesos hospitalarios es una prioridad en Cuba, tanto para la gestión eficiente de los recursos como para garantizar los servicios de excelencia a la población.

b) Cumplimiento de los protocolos, procedimientos, guías clínicas y documentos rectores para el control y gestión de los procesos y la reducción de la variabilidad.

El programa para el perfeccionamiento continuo de la calidad de los servicios hospitalarios, anexo a la resolución ministerial 145/2007 y vigente actualmente plantea una serie de objetivos que guían la actividad sanitaria. Entre estos objetivos se identifican al menos nueve orientados al control y mejoramiento de los procesos hospitalarios, además de reducir la variabilidad que habitualmente aparece cuando

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

estos se ejecutan. La Tabla 6 muestra cinco objetivos para los cuales más del 50 % de los profesionales de la salud encuestados afirman que han analizado procesos.

Tabla 6. Objetivos de mayor interés por los especialistas de la gestión hospitalaria para el control y análisis de procesos hospitalarios. Fuente: elaboración propia.

Objetivo	Porcentaje
Velar por la calidad de los procesos y el control de su ejecución.	91,4%
Comprobar el cumplimiento de las pautas y procedimientos médicos.	61,7%
Analizar los pasos del proceso para reducir el ciclo de tiempo.	59,7%
Diseñar acciones de mejora (actividades en paralelo, traspaso de actividades a otros procesos, etc.).	55,3%
Eliminar o minimizar actividades de bajo o nulo aporte.	53,1%

El 95,7 % de los profesionales de la salud encuestados afirman que han trabajado en el cumplimiento de estos objetivos, sin embargo consideran que no son efectivos para reducir la variabilidad, debido a que poseen mecanismos y métodos subjetivos para su detección.

c) Grado de conocimientos sobre las tecnologías, técnicas y métodos para analizar procesos y detectar variabilidad en su ejecución.

El 69,3% los especialistas de la salud encuestados consideran que las técnicas y métodos utilizados para el análisis de los procesos no aportan efectivamente al cumplimiento de los objetivos (26 % indeciso). El 85,7% considera que las técnicas tradicionales de análisis de procesos hospitalarios no son efectivas para detectar variabilidad. El 89,7% considera que las técnicas de modelado son complejas para profesionales de la salud.

d) Interés de las instituciones sanitarias para detectar variabilidad.

Los encuestados plantean la necesidad de crear alternativas basadas en fuentes de información no subjetivas, que ayude a detectar la variabilidad en los procesos hospitalarios.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

El 100 % considera que la información almacenada en los sistemas de información de salud en instituciones sanitarias, puede ser útil para detectar variabilidad en sus procesos. El 100 % de los encuestados considera además, que es pertinente, novedoso y actual utilizar las tecnologías de la información, para analizar los procesos hospitalarios y generar conocimientos sobre su ejecución. Todos los encuestados manifestaron su interés por contar con una solución para enfrentar el problema de la variabilidad en los procesos, que les permita su detección para apoyar la gestión que realizan.

También se realizaron otras tareas durante el diagnóstico, tales como:

- **Determinación de las fuerzas impulsoras y restringentes que inciden en la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.**

Un aspecto fundamental en el que se profundizó durante el diagnóstico fue lo relacionado a la detección de variabilidad por especialistas en la gestión hospitalaria en Cuba. Para ello se aplicó la técnica Campo de Fuerzas. Para la selección de los doce participantes se tomaron en cuenta varios criterios, como la experiencia, cargos y relación de su trabajo con el objetivo principal de la presente investigación.

Se escogieron administrativos de hospitales y funcionarios del MINSAP de la Dirección Provincial de Salud Pública Sancti Spíritus, asesores de registros médicos y estadísticos del Hospital Hermanos Ameijeiras y la Clínica Central Cira García. Participaron además, administrativos del Centro de Informática Médica de la UCI. La composición de los expertos involucrados se muestra en detalle en el Anexo 11.

Los resultados de la aplicación de esta técnica se muestran en el Anexo 12. Ello evidencia la importancia que se le da a la detección de variabilidad en procesos hospitalarios. Se destaca la tendencia y el interés por el uso de las tecnologías actuales y la necesidad de disponer de las mejores alternativas para el análisis de procesos hospitalarios y la toma de decisiones sobre su gestión.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

- **Elaboración del diagrama causa-efecto**

Como parte del diagnóstico se desarrolló un diagrama causa-efecto, el cual se muestra en el Anexo 13. En este se agrupan las insuficiencias e ineficiencias detectadas en una variable causal:

- **Detección de variabilidad:** Se destacó la poca experiencia en la detección de variabilidad en los procesos hospitalarios. Se reconoce su importancia y las consecuencias negativas para el desarrollo del sector. Existe poco intercambio de información entre los profesionales, lo cual conlleva a disímiles alternativas para ejecuciones de procesos similares. Uso de tecnologías y métodos basados en resultados subjetivos. No aprovechamiento de la información contenida en los sistemas de información de salud para contribuir a la toma de decisiones y la gestión de los procesos.

El resultado de este diagnóstico refleja la importancia de desarrollar una herramienta informática integrada a los sistemas de información de salud, que permita detectar variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios. Con los elementos analizados la herramienta debe ser sencilla de usar, mostrar resultados certeros y en consonancia con la medicina basada en evidencias, lo cual constituye una tendencia en la medicina moderna. Para ello se propone un modelo que se presenta y fundamenta a continuación.

2.2 MDV: Modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios

La construcción conceptual del modelo propuesto en la presente investigación, exigió un diseño metodológico que abarca toda la estructura de la tesis y constituye una combinación de teoría y práctica. La vida del modelo sin embargo, lo constituye la dinámica de su funcionamiento y su aplicabilidad. A continuación se expone el modelo teórico propuesto teniendo en cuenta su objetivo, principios, cualidades y premisas. El modelo describe y representa sus componentes tecnológicos, de conocimiento y las

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

interrelaciones existentes entre ellos, que contribuyen a su vez a la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

El modelo integra los principales fundamentos teóricos abordados en el capítulo 1 de la presente investigación, además de los elementos obtenidos a partir del diagnóstico realizado en Cuba. El modelo MDV contribuye a minimizar las fuerzas restringentes obtenidas con la aplicación de la técnica campo de fuerzas, actúa sobre las causas que afectan la detección de variabilidad en procesos hospitalarios y ofrece una solución al problema de investigación identificado, cumpliendo la hipótesis formulada. Está en consonancia a los elementos planteados por Marión, Asencio y Wennberg en el capítulo 1, epígrafe 1.1 para ayudar a reducir las variaciones injustificadas y disminuir el gasto en salud. Se basa en los datos de eventos de la ejecución real de los procesos, por lo que disminuye la incertidumbre en las decisiones al basarse en las evidencias almacenadas en sistemas de salud.

2.3 Principios, enfoques, premisas y componentes del modelo MDV

Los **principios** que sustentan el modelo propuesto para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios aplicando técnicas de minería de procesos son los siguientes:

- a) La **estandarización** de componentes y procedimientos para detectar la variabilidad en la ejecución de procesos sanitarios.
- b) La **interoperabilidad** entre los componentes que conforman el modelo de detección de variabilidad.
- c) La **flexibilidad** de sus componentes para adaptarse a las particularidades de los sistemas de salud.
- d) La **pertinencia** como garantía de la adecuación del modelo en el contexto de la salud.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

- e) La **actualización** permanente mediante la retroalimentación de la información que nutre al modelo.

Los **enfoques científicos** empleados en el diseño del modelo propuesto son los siguientes:

- a) **Mejora continua:** el perfeccionamiento continuo, la iteración, permanente mejora, según necesidades internas y variaciones del contexto interno y externo.
- b) **Enfoque sistémico:** se expresa en el modelo propuesto a través de la interacción entre sus componentes de forma coherente para funcionar como un todo, con el objetivo de contribuir a la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios aplicando técnicas de minería de procesos.
- c) **Integralidad:** debido a que los componentes del modelo cubren de manera integrada y coherente la mayoría de los elementos necesarios para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.
- d) **Estratégico:** se expresa en la generación de los registros de eventos de sistemas de información de salud para el análisis en función de detectar, evaluar, predecir, descubrir y recomendar acciones que apoyen la toma de decisiones como parte de la retroalimentación del modelo. Los análisis constituyen un aspecto estratégico para contribuir a la mejora de importantes funciones gerenciales como la planificación, el control y la gestión de los recursos, así mismo favorecer la ejecución de los procesos de negocio en las organizaciones sanitarias.

Las **premisas** con vistas a la aplicación del modelo propuesto son:

- a) La **calificación** necesaria de los administrativos y analistas de procesos para el uso eficiente del modelo propuesto para detectar variabilidad.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

- b) La **voluntad institucional** y la **visibilidad de los recursos** necesarios para apoyar la aplicación del modelo.
- c) La **existencia de tecnologías para almacenar datos de eventos** en forma de trazas de ejecución en los sistemas de información de salud.
- d) La **calidad de los datos contenidos en los registros de eventos** en los sistemas de información de salud para detectar variabilidad en sus procesos.

Los componentes del modelo elaborado son:

- Generación de registros de eventos
- Técnicas de minería de procesos para la detección de variabilidad

En la Figura 2.1 se muestra una gráfica con la interacción de estos componentes y la interrelación que se produce entre ellos.

2.4 Estructura del modelo MDV

El modelo está formado por los componentes mencionados por el autor anteriormente e interrelacionados entre sí, como muestra la Figura 2.1.

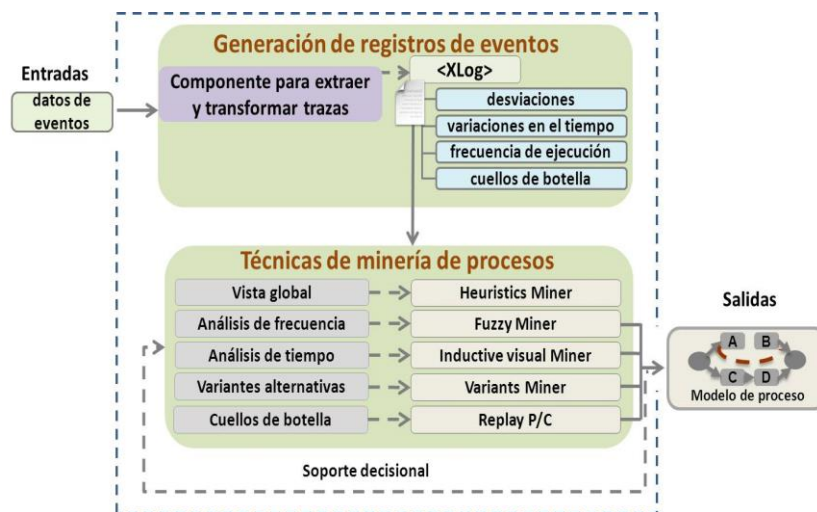


Figura 2.1. Modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios (MDV). Fuente: elaboración propia.

Las entradas del modelo son los datos de eventos referentes a los pacientes, los profesionales de la salud, administrativos o directivos y los recursos.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

Las salidas son los modelos de proceso obtenidos a partir de las distintas configuraciones y los análisis basados en los registros de eventos. El objetivo del modelo es integrar un conjunto de técnicas, componentes y conceptos asociados a la minería de procesos y la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios en sistemas de información de salud.

El flujo conceptual del modelo comienza con la utilización de las trazas de ejecución de las actividades hospitalarias, contenidas en sus sistemas de información, tanto especializados como integrales.

La disponibilidad de las trazas de ejecución permite su extracción y transformación en registros de eventos de formato estándar XES. Los registros de eventos almacenan información de variabilidad como desviaciones, variaciones en el tiempo, frecuencia de ejecución o cuellos de botella. El componente de Generación de registros de eventos extrae las trazas de sistemas de información de salud, genera registros de eventos y propicia el análisis por las técnicas de minería de procesos. Las técnicas de minería de procesos reciben los registros de eventos y generan como salida modelos de la ejecución de los procesos. Para apoyar y guiar el proceso de detección y los análisis que se realicen, es elaborado el procedimiento descrito en el epígrafe 2.7.

El modelo parte de las necesidades de las instituciones sanitarias y se retroalimenta de los casos analizados, los resultados de su instrumentación y cuando se identifican nuevos factores que influyen en este proceso a partir de:

- ✓ La incorporación de nuevas técnicas de minería de procesos a partir del desarrollo tecnológico y las necesidades de análisis, esto es posible dada la flexibilidad del modelo.
- ✓ Los reajustes de las configuraciones técnicas propuestas a partir de los análisis realizados y sus resultados.
- ✓ La propia evaluación del impacto de los resultados sobre la institución sanitaria.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

2.5 Componente: Generación de registros de eventos

La mayoría de los sistemas y herramientas informáticas del sector hospitalario poseen una bitácora, donde son almacenados los datos de eventos de las actividades de proceso en forma de trazas. Las trazas son la evidencia de la ejecución de acciones en los sistemas. Su empleo, tanto para el control institucional o la toma de decisiones sobre la gestión hospitalaria, se traduce en una alternativa novedosa y actual, teniendo en cuenta los importantes volúmenes de datos que se generan en el sector sanitario, muchas veces inutilizados.

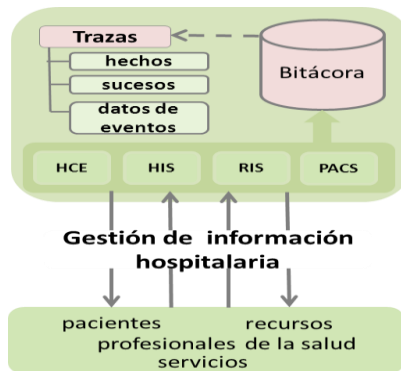


Figura 2.2. Fuentes de información que nutren las entradas del modelo MDV. Fuente: elaboración propia.

Cada traza de ejecución puede ser denotada a partir de la tupla $\langle case_id, task_id \rangle$, donde el $case_id$ es el identificador único de la instancia de proceso y el $task_id$ es el identificador único de la tarea del proceso. Estos elementos constituyen los requisitos mínimos para obtener un registro de eventos.

Las trazas son enriquecidas si los sistemas de información almacenan otros tipos de datos de eventos como el originador de la tarea (quien ejecuta la tarea), las marcas de tiempo del evento, u otros datos adicionales como los atributos de objetos que cambian durante la ejecución del proceso. A partir de estos datos el registro de evento puede aumentar y tomar la forma $\langle case_id, task_id, originator, timestamp, data \rangle$. Los registros de eventos combinan los datos de eventos en una secuencia ordenada a partir de las trazas de ejecución en sistemas de información.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

El componente para generar registros de eventos utiliza los datos de eventos contenidos en las trazas de ejecución como entrada y genera un fichero de formato estándar XES (objeto XLog), el cual contiene la información necesaria para construir el modelo de proceso. El registro de eventos constituye la salida de este componente y constituye el punto de partida para la aplicación de las técnicas de minería de procesos (Orellana, Pérez-Alfonso & Larrea, 2015; Orellana, Pérez & Larrea, 2015; Orellana, Larrea & Pérez-Alfonso, 2015).

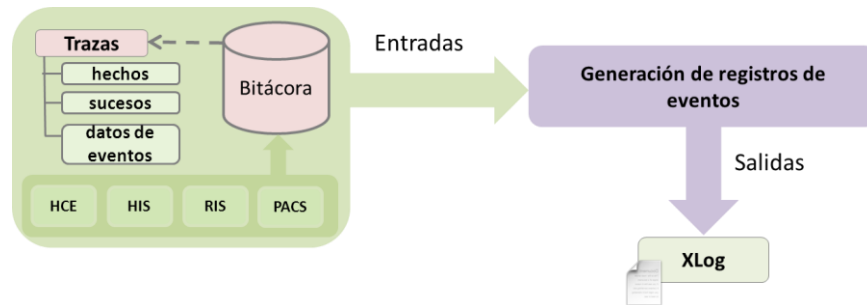


Figura 2.3. Esquema del componente en términos de entradas y salidas. Fuente: elaboración propia.

La figura 2.4 muestra un fragmento de un registro de eventos obtenido con el componente propuesto.

```
<trace>
  <string key="concepto:nombre" valor="3280"/>
  <string key="descripción" valor="Simulated process instance"/>
  <event>
    <string key="organizacional:recurso" valor="Root"/>
    <date key="tiempo:marca de tiempo" valor="2012-01-10T09:50:00.476.000+01:00"/>
    <string key="concepto:nombre" valor="ver detalles_sol_bq"/>
    <string key="ciclo de vida:transición" valor="inicio"/>
  </event>
  <event>
    <string key="organizacional:recurso" valor="Root"/>
    <date key="tiempo:marca de tiempo" valor="2012-01-10T09:50:59.937.000+01:00"/>
    <string key="concepto:nombre" valor="ver detalles_sol_bq"/>
    <string key="ciclo de vida:transición" valor="completado"/>
  </event>
</trace>
```

Figura 2.4. Fragmento de un registro de eventos. Fuente: (Orellana & Sánchez, 2014).

Entre los datos contenidos en el registro de eventos están:

- **organizacional:recurso:** es el identificador de quien ejecuta la actividad.
- **tiempo:marca de tiempo:** la fecha y la hora en que se ejecutó la actividad.
- **concepto:nombre:** corresponde al nombre de la actividad.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

- **ciclo de vida:transición:** ciclo de vida de la transición, en este caso puede tomar dos valores (inicio, completado).

2.6 Componente: Técnicas de minería de procesos

Este componente contiene cinco técnicas de minería de procesos cuya selección está basada en el análisis presentado en el epígrafe 1.5 del capítulo 1 de esta tesis. El objetivo de este componente es integrar las técnicas en los sistemas de información de salud para detectar variabilidad en la ejecución de sus procesos. Las entradas al componente están definidas por los registros de eventos generados en el componente anterior, mientras que las salidas son los modelos que reflejan el comportamiento de la ejecución de los procesos.

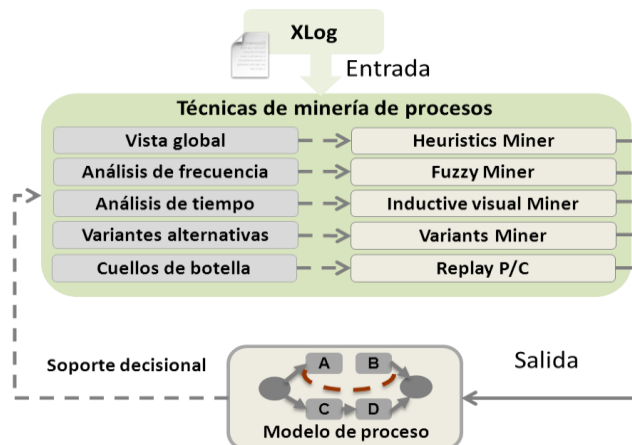


Figura 2.5. Esquema del componente en términos de entradas y salidas. Fuente: elaboración propia.

A continuación se describe la adaptación de las técnicas seleccionadas para su integración al modelo propuesto:

Vista global de procesos con Heuristics Miner

La técnica *Heuristics Miner* recibe el registro de eventos obtenido de la extracción y transformación de trazas. A partir de la necesidad de minimizar la complejidad y facilitar su uso para los especialistas de la gestión hospitalaria, se decide prescindir de todos los parámetros visuales de entrada que requiere la técnica original, descritos en el Anexo 14. Estos dificultan la generación de modelos por parte de los usuarios no

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

expertos; para la presente investigación y teniendo en cuenta los análisis del capítulo 1, los parámetros tendrán valores por defecto según indican los creadores del algoritmo y la técnica (Weijters van Der Aalst & De Medeiros, 2006; Burattin, Sperdutin & van der Aalst, 2012). La propuesta 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 (Orellana et al., 2015; Abreu et al., 2015), las cuales garantizan la obtención de resultados útiles para el análisis de la variabilidad en entornos hospitalarios:

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 entre 0-1, cuanto más próximo a 1 indica seguridad en la relación de dependencia entre las actividades conectadas.
- **Frecuencia:** Número de veces que se repite un evento en el proceso, en un intervalo de tiempo determinado.

Flujo principal: Resalta el color del flujo de 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. El número de los arcos indica la frecuencia o dependencia entre las transiciones.

- 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.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

Notación BPMN: El modelado en BPMN se realiza mediante diagramas muy simples con un conjunto muy pequeño de elementos gráficos. Con esto se busca simplificar la comprensión del flujo de actividades y el proceso de negocio.

Análisis de la frecuencia de ejecución con Fuzzy Miner

La técnica *Fuzzy Miner* utiliza como entrada un registro de eventos y genera como salida un modelo difuso. Para el análisis de procesos hospitalarios se propone que el modelo generado contenga dos tipos de actividades y tres tipos de aristas, con diferentes grosor y color que las identifiquen según la frecuencia y la correlación respectivamente.

Además del modelo que genera con las relaciones de las actividades, también obtiene otras vistas que representan las métricas unarias, binarias y las correlaciones, descritas en el Anexo 15. Estas vistas no se incluyen en la propuesta, para interpretar sus valores es necesario tener conocimientos de cómo se calcula cada una de las métricas y que significa cada valor. Para su aplicación en el entorno hospitalario y detectar variabilidad en la ejecución de sus procesos, se necesita obtener toda la información posible a partir de los datos que se almacenan, considerando que las configuraciones generan un modelo útil y comprensible, según lo planteado en (Process Mining Group, 2009; van der Aalst & Gunther, 2007).

Los filtros originales no se incluyen en la propuesta debido a la complejidad que poseen los mismos. En su lugar se proponen dos filtros el "Frecuencia de actividades" y "Frecuencia de aristas", similar al filtro de la herramienta Disco para el mismo tipo de análisis. El primero muestra las actividades dependiendo del por ciento que se desee visualizar y responde al valor de las métricas unarias. Mientras que el segundo muestra las relaciones de precedencia de dos actividades dependiendo del por ciento que se desee visualizar y responde a las métricas binarias y la correlación (Sosa & Orellana, 2015).

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

De los parámetros configurables de las métricas se personaliza el Peso y Activo. El Peso representa el valor que va a tener la métrica, su valor por defecto es uno (1). Con el Activo siempre se tiene presente el valor que contiene la métrica para generar el modelo (Orellana, Pereiras & Sosa). En las configuraciones de medición, el punto de medida tendrá un valor máximo de distancia de cuatro (4) y la atenuación $N^{\text{th}} \text{ root with radical}$ 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.

Van der Aalst define al ruido como el “Comportamiento reflejado en las trazas y que rara vez ocurre, que es excepcional o poco frecuente, es decir, que no se corresponde con el comportamiento típico observado en el proceso” (van der Aalst, 2011). Este se manifiesta de las siguientes formas:

1. Eventos del sistema que no tienen nada que ver con el proceso y que se incluyen en el registro de eventos.
2. Una sola actividad que tuvo lugar mucho antes que el resto de las actividades en el registro de eventos.
3. Una brecha en el registro donde en un determinado período no hay eventos registrados.

Los términos para tratarlo son:

- a) Los casos incompletos son rastros en un registro de eventos (ausencia de eventos).
- b) El comportamiento excepcional es comportamiento de baja frecuencia que difiere de la mayoría de las trazas.
- c) El ruido del sistema como acontecimientos que se registran incorrectamente debido a un error del sistema o que no tienen nada que ver con el proceso realizado.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

Fuzzy Miner en la investigación se centra en la variante (b), debido a que la presencia de desviaciones en los modelos resultantes, constituye un indicador de posibles fraudes o violaciones en las políticas lo cual puede ser útil a las organizaciones en la realización de auditorías y control.

Análisis de los tiempos de ejecución con Inductive visual Miner

La arquitectura de la técnica *Inductive visual Miner* (IvM, por sus siglas en inglés) se asemeja a una cadena de análisis y visualización de tareas, como se muestra en la Figura 2.6. A continuación se describen cada una de ellas, además de las transformaciones necesarias para la presente investigación.

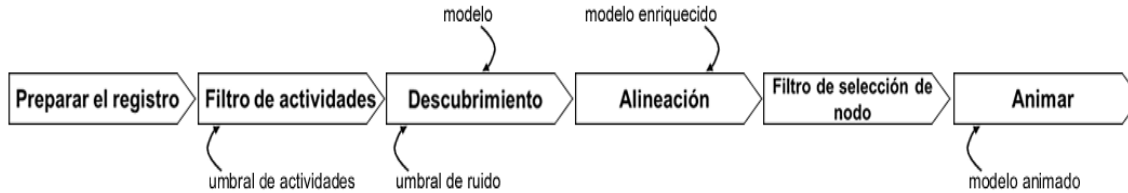


Figura 2.6. Cadena de análisis de IvM. Fuente: Adaptado de: (Leemans, Fahland & van der Aalst, 2014).

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 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 (Leemans, Fahland & van der Aalst, 2014) y no sufrirá cambios en ninguna otra tarea del análisis.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

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, 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

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

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

tarea se obtiene el modelo en imagen vectorial³ (SVG), esto se ejecuta mediante la librería *Graphviz* (Ellson et al., 2004).

Luego de obtener el modelo en SVG se realiza la animación de las instancias del proceso. En la presente investigación se añade a la técnica el cálculo de la media del tiempo de ejecución de las mismas, para la búsqueda de la desviación cuadrática de este tiempo de ejecución (Orellana, Pérez y Larrea, 2015a; Orellana et al., 2016). Este cálculo se realiza, a partir de las marcas de tiempo que contienen cada instancia de proceso. Después de realizado el cálculo, se definen cuáles son las instancias que están por encima o por debajo de la media, esto permite diferenciar en el modelo las instancias cuyo tiempo de ejecución se comporta con un carácter lento, rápido o normal (según la media de ejecución).

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 añade a la clase *AnimationSVG* de la técnica, la cual realiza el cálculo, luego la clase *SVGTokens* convierte en imagen vectorial la información de cada una de las instancias del proceso para agregarlas al SVG del modelo de proceso.

Obtención de las variantes alternativas con Variants Miner

El uso de la técnica Variants Miner para la presente investigación se basa en mostrar las variantes alternativas del proceso. Para eso ejecuta secuencialmente las siguientes etapas:

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.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

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

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 (Pérez, 2015).

A los resultados de la técnica se le incorporan elementos desde la perspectiva temporal de minería de procesos que facilitarán los análisis. Para ello se integra al árbol de variantes las métricas de tiempo: duración mínima, media, máxima y total a cada una de las actividades del proceso en análisis (Orellana, Castañeda & Valladares, 2015; Castañeda, Valladares & Orellana, 2015).

- 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 fórmula 2.1 de media aritmética:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \quad (2.1)$$

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

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.

Identificación de cuellos de botella con Replay P/C.

La técnica *Replay P/C* recibe como entrada una *Petri Net* y un registro de eventos y devuelve un modelo de procesos integrado que permite identificar posibles cuellos de botella. Al realizar un análisis documental sobre los algoritmos que generan las *Petri Net* se selecciona *Inductive Miner Algorithm*. Este algoritmo fue evaluado y comparado con *ILP Algorithm* y *Alpha Algorithm* teniendo en cuenta los criterios (dimensiones de calidad) siguientes (van der Aalst & van Dongen, 2013):

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

El Anexo 16 refleja los análisis realizados para la selección del algoritmo.

Al aplicar la técnica *Replay P/C*, el *plugin* en el marco de trabajo ProM muestra un panel con los datos de tiempo de procesamiento, tiempo de espera y tiempo de estadía. Con el análisis de los valores de tiempos mínimos, máximos, promedios y la desviación estándar, es posible detectar las actividades que representan cuellos de

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

botella. Debido a la importancia que suponen estos indicadores se propone su incorporación a la propuesta de solución teniendo en cuenta mejoras visuales para el análisis por parte de los usuarios.

A partir del dato “*time:timestamp*” perteneciente a cada traza del registro de eventos, es posible obtener valores para los atributos de tiempos mínimos, máximos, promedio y desviación estándar asociadas a los tiempos de procesamiento, estadía y espera. La desviación estándar mide el grado de dispersión de los datos con respecto a la media. Mientras menor sea la desviación estándar, los datos son más homogéneos, es decir existe menor dispersión, el incremento de los valores de la desviación estándar indica una mayor variabilidad de los datos. El Anexo 17 contiene un listado de librerías necesarias para ejecutar la técnica *Replay P/C* fuera del marco de trabajo ProM.

2.7 Procedimiento para el análisis de variabilidad

Para la aplicación del modelo MDV se elaboró un procedimiento que consta de dos fases, las cuales están en correspondencia con las entradas y salidas de los componentes del modelo y coincide con su funcionamiento.

Las fases del procedimiento son: Preparación y Modelación. Estas fases se definen en función de realizar actividades que propicien, al término de aplicar el procedimiento sobre el modelo, la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.



Figura 2.7 Esquema de las fases del procedimiento. Fuente: elaboración propia.

Las actividades que se definen en la fase dos del procedimiento, se realizan en el orden de aparición si se desea realizar un análisis exhaustivo, en caso contrario, si se necesita analizar elementos específicos puede realizar actividades concretas. Están

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

basadas en el caso de estudio de Jans y los modelos de Bozkaya y Rozinat, descritos en el capítulo 1 de la tesis.

2.7.1 Descripción de las fases del procedimiento

Fase 1: Preparación.

Entradas: Trazas de ejecución del proceso.

Salidas: Registro de eventos.

Descripción general: Se configuran los parámetros de extracción del registro de eventos correspondiente al proceso en análisis y se examinan sus características.

Esquema:

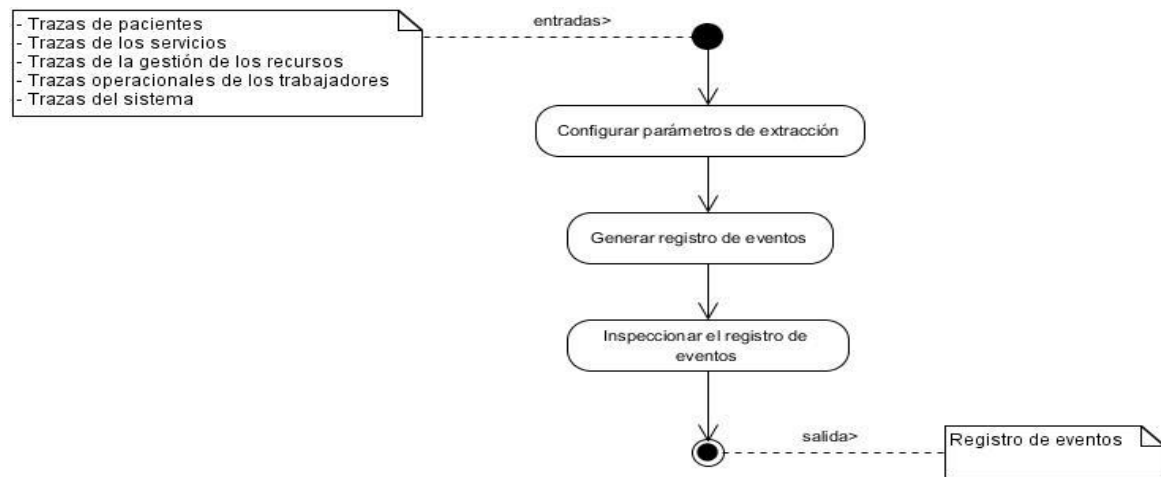


Figura 2.8. Esquema de la fase 1: Preparación. Fuente: elaboración propia.

Fase 2: Modelación.

Entradas: Registro de eventos.

Salidas: Modelos de procesos (con elementos de variabilidad en su ejecución).

Descripción general: En esta fase se realizan las actividades correspondientes al uso de las técnicas de minería de procesos para detectar variabilidad. Se obtienen modelos que reflejan el comportamiento del proceso en análisis desde el sistema en un período de tiempo definido en la fase 1.

Esquema:

CAPÍTULO 2: MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD (MDV)

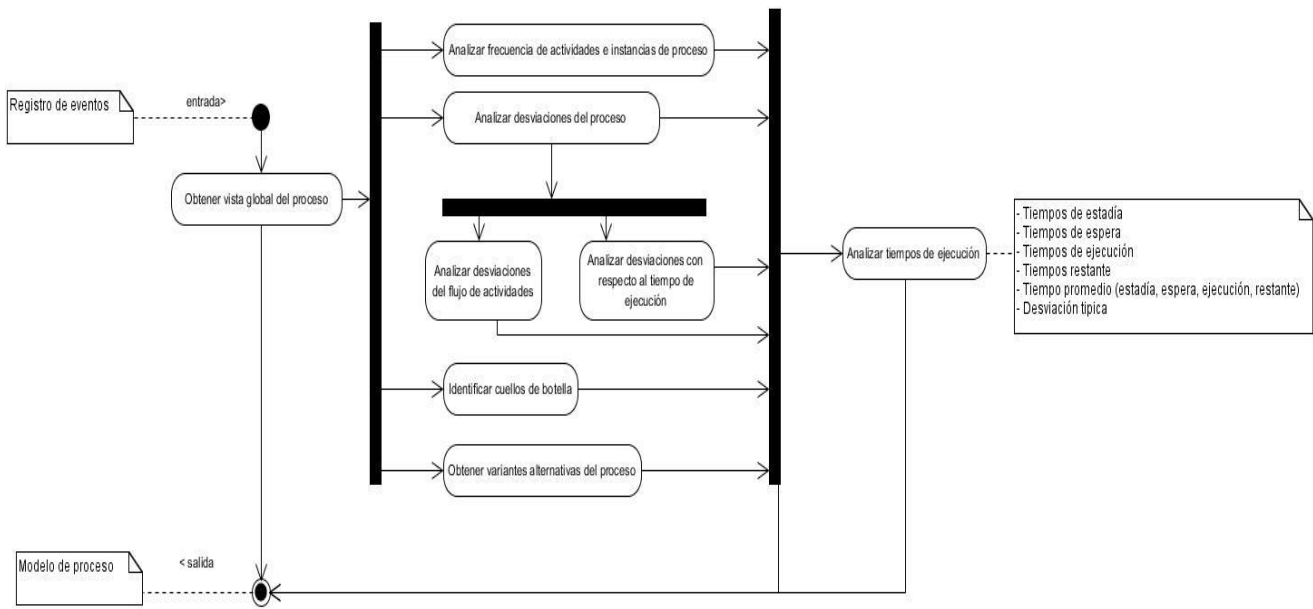


Figura 2.9. Esquema de la fase 2: Modelación. Fuente: elaboración propia.

2.8 Conclusiones del capítulo

- Se define el modelo MDV para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios, el cual integra un conjunto de técnicas de minería de procesos, modificadas para su uso en el entorno sanitario.
- Mediante la integración de experiencias positivas en materia de modelos para guiar proyectos de minería de procesos y las características de los procesos hospitalarios, fueron definidos los constructos, elementos de diseño y características que sustentan el modelo MDV.
- Para la aplicación del modelo se elaboró un procedimiento que define dos fases relacionadas a los componentes de MDV y permite guiar los análisis sobre los procesos hospitalarios.

CAPÍTULO 3

INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO 3. INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo, se exponen los principales elementos relacionados con la validación del modelo para la detección y análisis de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando técnicas de minería de procesos. Así mismo se presenta la aplicación de los resultados obtenidos sobre el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS, desarrollado por la UCI y el apoyo de más de 20 instituciones cubanas y venezolanas.

3.1 Instrumentación del modelo MDV en el Sistema XAVIA HIS

El Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS, desarrollado por el Centro de Informática Médica de la UCI permite la recolección, almacenamiento, procesamiento e interpretación de los datos clínicos y administrativos, para todas las actividades relacionadas con la institución de salud. El XAVIA HIS como sistema de información posee un número considerable de datos almacenados, entre los que se encuentran los datos de eventos, que son aprovechados al ser convertidos en información útil para la toma de decisiones.

La propuesta consiste en la implementación del modelo MDV sobre el sistema antes descrito. Para la instrumentación se desarrolló un módulo de extracción y transformación de trazas en registro de eventos y la integración de las técnicas de minería de procesos definidas en el modelo MDV al XAVIA HIS. En este sentido fue necesario adaptar las 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.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

El módulo para generar registros de eventos (Orellana, Larrea & Pérez, 2015; Orellana, Pérez & Larrea, 2015) se conecta a la bitácora del sistema para realizar la extracción y transformación de trazas. De la tabla *jbpm_processdefiniton*, se extrae el identificador del proceso seleccionado y el atributo name. De la tabla *jbpm_processinstance* se selecciona el identificador de las instancias de proceso pertenecientes 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* se obtiene el atributo *actorid_*, el cual representa los departamentos a los que pertenecen los usuarios que interactúan con el sistema en análisis. La salida de la ejecución de este componente es un registro de eventos que cumple con el estándar XES.

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 (Orellana, Larrea & Pérez, 2016), Variantes alternativas del proceso e Identificación de cuellos de botella, las cuales son instanciaciones de las técnicas de minería de procesos propuestas en el modelo MDV. Por último, se genera y muestra un modelo de proceso.

Para la implementación de las técnicas en el sistema se tuvo en cuenta lo planteado en el epígrafe 2.6, además fueron creadas un conjunto de tablas estadísticas, gráficos, leyendas y elementos necesarios para favorecer los análisis que se realizan. El Anexo 18 muestra imágenes y detalles de la instrumentación del modelo en el sistema XAVIA HIS.

La funcionabilidad del modelo en otros sistemas de información de salud es aplicable si:

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

- Se cumplen las premisas para aplicar el modelo MDV.
- Se ajusta el componente para la extracción y transformación de trazas en registros de eventos al sistema sobre el cual se desee detectar variabilidad en sus procesos.
- Se puedan instanciar las técnicas de minería de procesos con las modificaciones y mejoras propuestas por MDV.
- Son compatibles las arquitecturas del sistema hospitalario y las técnicas.
- Se emplea como lenguaje de programación Java

3.2 Validación del modelo MDV

La validación del modelo propuesto se basó en tres elementos fundamentales:

- El estudio de los métodos de validación realizados en las tesis doctorales defendidas en el Tribunal de Automática y Computación en los 5 últimos años.
- Los métodos, procedimientos, técnicas y sugerencias expuestas por doctores en consultas, entrevistas y en el programa doctoral de la UCI.
- La literatura referida al tema, específicamente la que aborda los métodos que pueden ser utilizados para validar investigaciones en el campo de la ingeniería de software.

La validación del modelo incluyó varias técnicas cualitativas y cuantitativas. Para el desarrollo de la validación se consultó un grupo de profesionales experimentados que representan especialistas en la gestión de instituciones hospitalarias. Las diferentes acciones realizadas se resumen a continuación:

- El **experimento** para demostrar la validez del modelo para detectar variabilidad en procesos hospitalarios.
- El **escalamiento de Likert** para validar los componentes del modelo.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

- El **grupo focal** para valorar la integralidad del modelo y para conocer la opinión de los expertos sobre la contribución del modelo en la detección y análisis de variabilidad en procesos hospitalarios.
- La **técnica de ladov** para evaluar el nivel de satisfacción de usuarios con respecto al modelo propuesto.
- La **entrevista en profundidad** para valorar los beneficios económicos y sociales del modelo MDV.
- La **triangulación metodológica** para disminuir el sesgo que se produce al comparar resultados obtenidos en la cuantificación de variables.

La Figura 3.1 muestra un resumen de las técnicas empleadas y la Figura 3.2 las condiciones y preparativos para su aplicación.

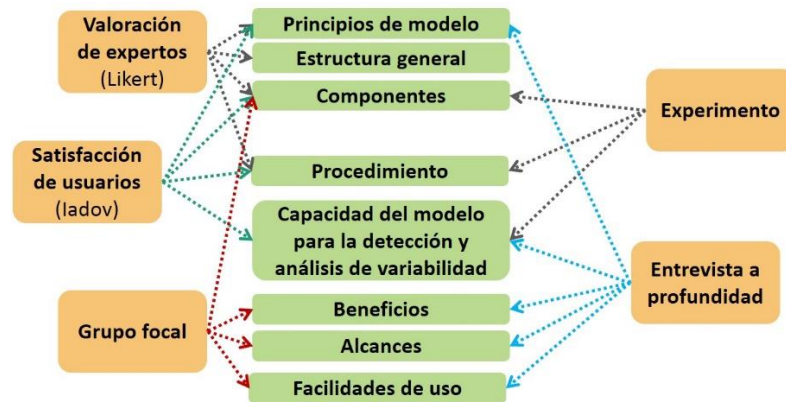


Figura 3.1. Resumen de las técnicas empleadas. . Fuente: elaboración propia.

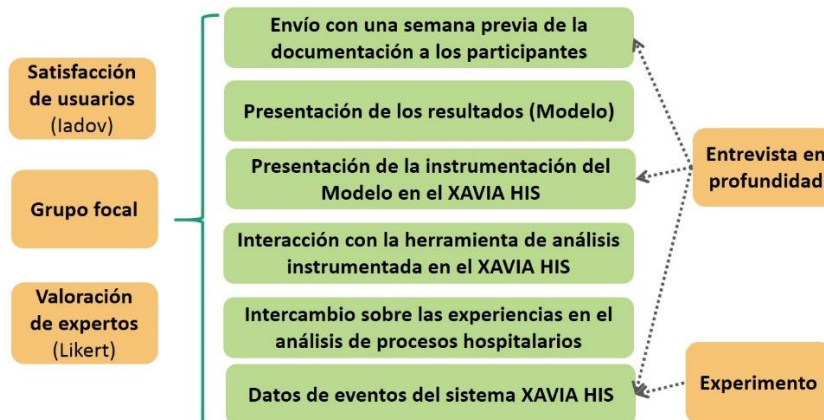


Figura 3.2. Condiciones para la aplicación de las técnicas de validación. Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Una síntesis de los resultados de cada método o técnica se exponen a continuación.

3.2.1 Análisis de un proceso del sistema XAVIA HIS con variabilidad en su ejecución

Se realizó un experimento con el objetivo de demostrar la capacidad de MDV para detectar elementos de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios. Por el interés de los especialistas en el entorno hospitalario se tuvo en cuenta la variabilidad de causa especial, en las dimensiones flujo de actividades y tiempos de ejecución. Para el experimento se seleccionó el proceso Solicitar productos del módulo almacén del sistema XAVIA HIS. Para el proceso de detección y análisis de variabilidad se siguieron las fases y actividades recomendadas en el procedimiento propuesto en el epígrafe 2.7 de la presente tesis.

El módulo Almacén se encarga de gestionar el flujo de información sobre los distintos movimientos que puede tener un producto en un almacén. Existen tres tipos de solicitudes de producto, solicitud de licitación, solicitud de almacén y solicitud de bloque quirúrgico. A partir de estas actividades se desprende el resto como se observa en la Figura 3.3, la cual representa el proceso desde el motor de flujo jBPM del sistema.

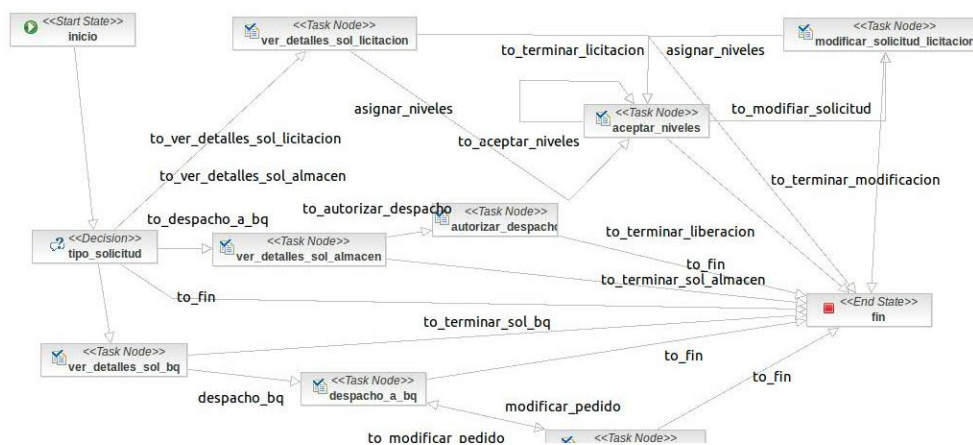


Figura 3.3. Modelo del proceso Solicitar productos obtenido del motor de flujo jBPM. Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para una mejor comprensión de la Figura 3.3 se elaboró el modelo de proceso de negocio utilizando la notación BPMN con apoyo de la herramienta *case Visual Paradigm*, como muestra la Figura 3.4.

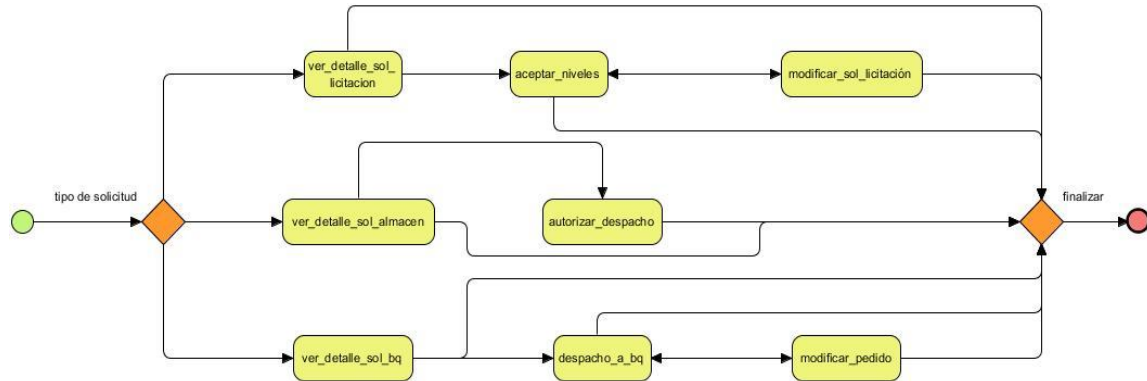


Figura 3.4. Modelo de proceso de negocio Solicitar productos. Fuente: elaboración propia.

Como indica la Fase 1 del procedimiento se obtuvo un registro de eventos del proceso antes mencionado, el cual comprende las ejecuciones realizadas sobre el mismo en las fechas 01/01/2011 y 01/01/2013. El proceso fue ejecutado 1140 veces, o sea, el registro de eventos contiene 1140 instancias del proceso. Se evidencian 5667 eventos, correspondientes a las 8 actividades del proceso y 26 personas interactuaron con estas actividades.

La Fase 2 del procedimiento indica la modelación del proceso utilizando las técnicas de minería de procesos propuestas. Se obtuvo una vista global del proceso a partir de la técnica Heuristics Miner como muestra la Figura 3.5.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

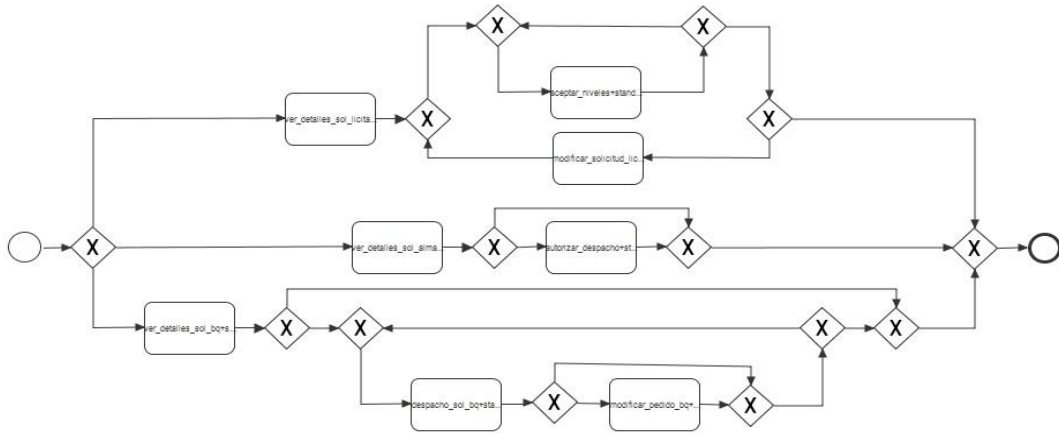


Figura 3.5. Modelo del proceso Solicitar productos obtenido con Heuristics Miner. Fuente: elaboración propia

Tras un análisis del resultado obtenido se detectó que existen transiciones entre actividades del proceso Solicitar producto que nunca fueron ejecutadas por el sistema y están definidas en el negocio. Estas transiciones son las que unen las actividades `ver_detalle_sol_licitacion` y `modificar_sol_licitacion` al fin del proceso. En la Figura 3.6 se muestran estas actividades en el modelo obtenido, señaladas en rectángulos rojos. En el diagrama de procesos del negocio se muestran las transiciones que nunca fueron ejecutadas por el sistema, igualmente señaladas en rojo.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

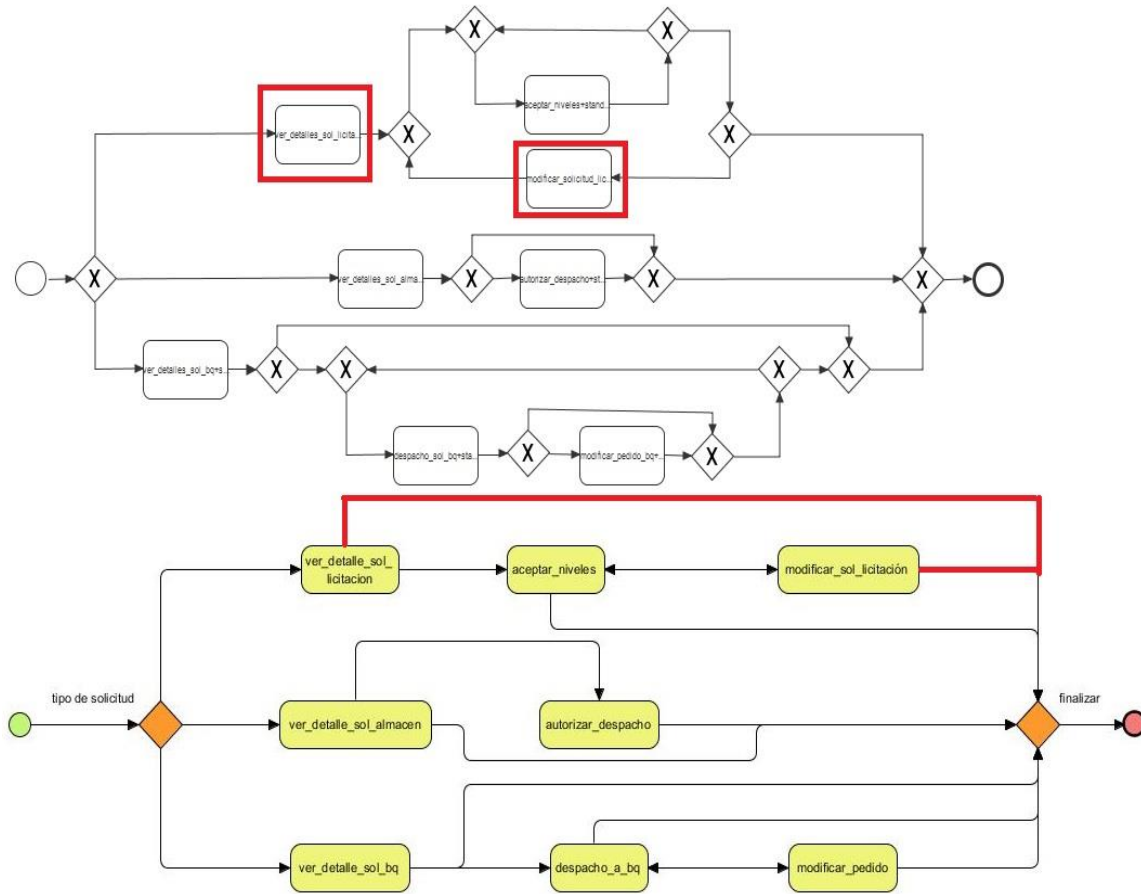


Figura 3.6. Comparación del modelo de Heuristics Miner y el proceso de negocio. Fuente: elaboración propia

Esto quiere decir que en el período en análisis, el camino identificado no fue ejecutado por los profesionales encargados de las actividades `ver_detalle_sol_licitacion` y `modificar_sol_licitacion`. En el proceso de negocio luego de ejecutarse `ver_detalle_sol_licitacion` se acepta niveles y continúa como muestra la Figura 3.4, de igual forma pasa con `modificar_sol_licitacion`. Al no existir evidencias de ejecución de las instancias por ese camino, entonces el subproceso de solicitud por licitación nunca ha terminado.

Para medir la importancia de las actividades con respecto a la frecuencia de ejecución se modeló el proceso utilizando la técnica Fuzzy Miner. Se estableció como valor del Filtro de Frecuencia de actividades 30 por ciento, teniendo en cuenta que tiene 3

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

subprocesos y permite mostrar la mayor cantidad de elementos sin descartar los que representan ruido. La Figura 3.7 muestra la interfaz del filtro.

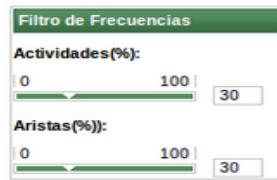


Figura 3.7. Interfaz para la configuración del valor frecuencia de actividades. Fuente: (Orellana et al., 2016a).

Con el valor de frecuencia establecido en la Figura 3.7 el modelo representado en la Figura 3.8 muestra como actividades de baja frecuencia las siguientes: aceptar_niveles (complete):0.06, aceptar_niveles (start):0.06, ver_detalles_sol_bq (start):0.27; ver_detalles_sol_licitacion (start):0.26, modificar_solicitud_licitacion (start):0.17 y modificar_solicitud_licitacion (complete):0.17.

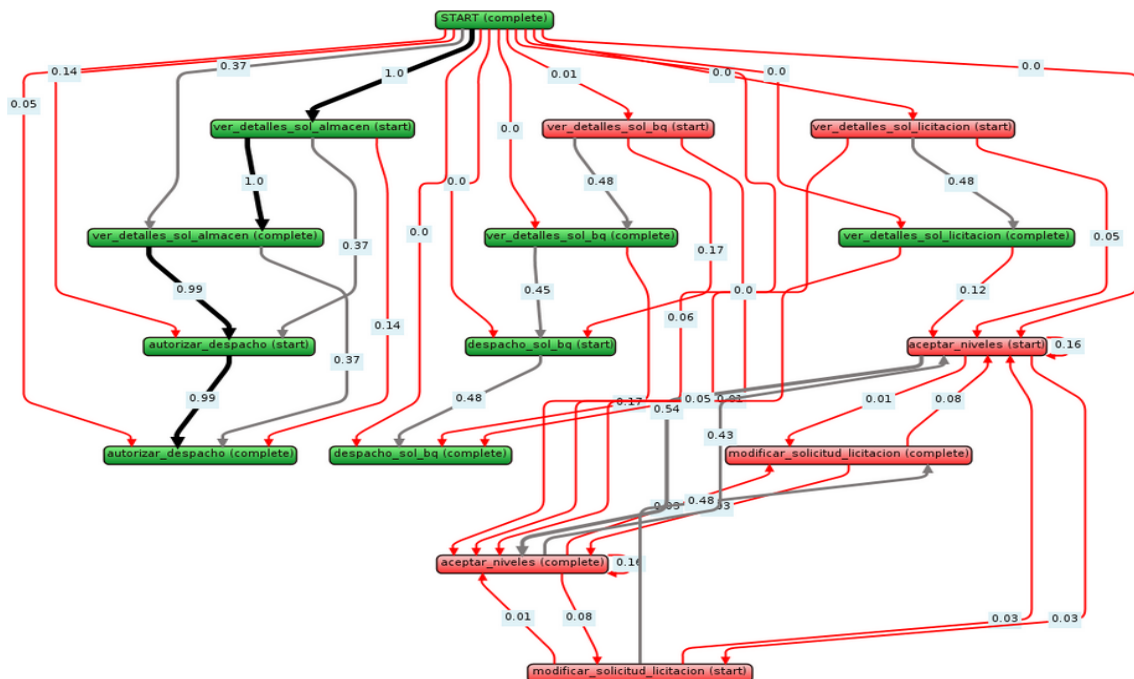


Figura 3.8. Modelo del proceso Solicitar productos con Fuzzy Miner. Fuente: (Orellana et al., 2016a).

El Anexo 23 muestra los valores de frecuencia obtenidos de seis procesos del XAVIA HIS. El flujo más frecuente de ejecución es el compuesto por ver_detalles_sol_almacen y autorizar_despacho, por lo que se le denota una mayor importancia desde el negocio.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Esto quiere decir que los profesionales que intervienen en el proceso se apoyan del sistema fundamentalmente para autorizar los despachos de productos a las áreas que los solicitan, lo cual propicia un mejor control y gestión.

Teniendo en cuenta el flujo más frecuente de las actividades del proceso se modela el mismo utilizando la técnica Inductive visual Miner. En la Figura 3.9 se puede apreciar el modelo correspondiente a esta técnica, con la opción *Caminos*.



Figura 3.9. Modelo del proceso Solicitar productos con IvM y la opción Caminos. Fuente: (Orellana et al., 2016).

Este modelo permitió constatar que el camino más frecuente es el detectado por Fuzzy Miner con 1127 instancias, de las cuales han concluido 1112. Se puede observar que en el subproceso de solicitud por licitación existen instancias que han transitado más de una vez por la actividad aceptar niveles, lo cual indica una posible causa de la no culminación de las instancias en ese subproceso porque se ejecuta cíclicamente.

De las 1140 instancias de procesos contenidas en el registro de eventos 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. Esto quiere decir que el comportamiento de la ejecución de las instancias con respecto al tiempo es similar y relativamente estable, a excepción de las 36 instancias que son consideradas lentas.

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. Fuente: Elaboración propia.

Actividades	Cantidad de instancias
-------------	------------------------

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

ver_detalle_sol_almacen	1127
autorizar_despacho	1012
aceptar_niveles	48
ver_detalle_sol_bq	10
despacho_sol_bq	9
modificar_solicitud_licitacion	4
ver_detalle_sol_licitacion	3

La Figura 3.10 muestra el modelo de análisis de tiempo obtenido con la técnica Inductive visual Miner, con la opción *Desviaciones*.

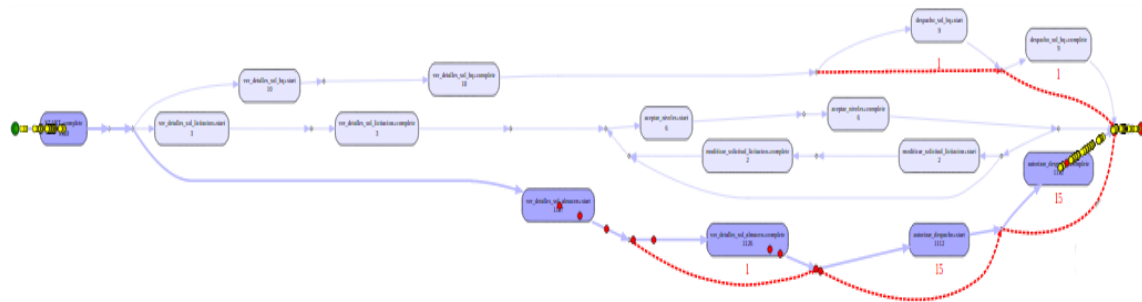


Figura 3.10. Modelo del proceso Solicitar productos con IvM y la opción *Desviaciones*. Fuente: (Orellana et al., 2016).

Las desviaciones que se manifiestan en el modelo generado son de tipo movimiento en el modelo y son ocasionadas debido a que no se ejecutaron las actividades para las instancias involucradas, lo cual constituye una anomalía en la ejecución del proceso. La Figura 3.11 representa un movimiento en el modelo hacia el flujo de mayor interés para los análisis, debido a que es el de mayor frecuencia de ejecución.

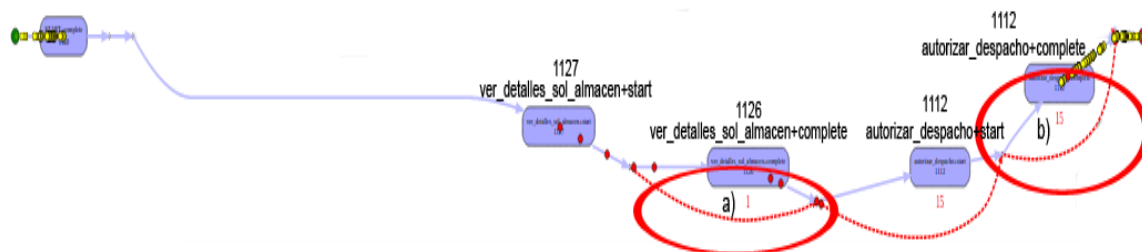


Figura 3.11. Movimiento en el modelo con desviación (camino ver_detalle_sol_almacen-autorizar_despacho). Fuente: (Orellana et al., 2016).

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se observa en la Figura 3.11, el camino compuesto por las actividades ver_detalles_sol_almacen y autorizar_despacho tiene 2 desviaciones. La desviación a) ocurre debido a que la actividad ver_detalles_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. Las instancias debían haber transitado por esta actividad (autorizar_despacho), pero se desvían directamente hacia el final del proceso, lo cual constituye una violación del negocio.

Otro de los caminos que presenta desviación es el que está compuesto por las actividades ver_detalles_sol_bq y despacho_sol_bq. Como se observa en la Figura 3.12, existe una instancia de proceso que en su ejecución no está registrada la actividad despacho_sol_bq, esto quiere decir que el despacho de la solicitud nunca fue registrado en el sistema, lo cual puede ser un desvío de recursos o una violación del negocio.



Figura 3.12. Movimiento en el modelo con desviación (camino ver_detalles_sol_bq-despacho_sol_bq).
Fuente: (Orellana et al., 2016).

El análisis de las desviaciones del proceso Solicitar productos demuestra que el camino con más desviaciones en su flujo es ver_detalles_sol_almacen-autorizar_despacho. En la Tabla 8 se muestra el número de desviaciones por cada camino.

Tabla 8. Caminos del proceso Solicitar producto con desviaciones. Fuente: elaboración propia.

Camino	Instancias desviadas	Total
[ver_detalles_sol_almacen-autorizar_despacho]	15	1127

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

[ver_detalle_sol_bq-despacho_sol_bq]	1	10
[ver_detalle_sol_licitacion-modificar_solicitud_licitacion-aceptar_niveles]	0	3

Al modelar las variantes alternativas del mismo proceso, se obtiene el modelo correspondiente a la Figura 3.13.

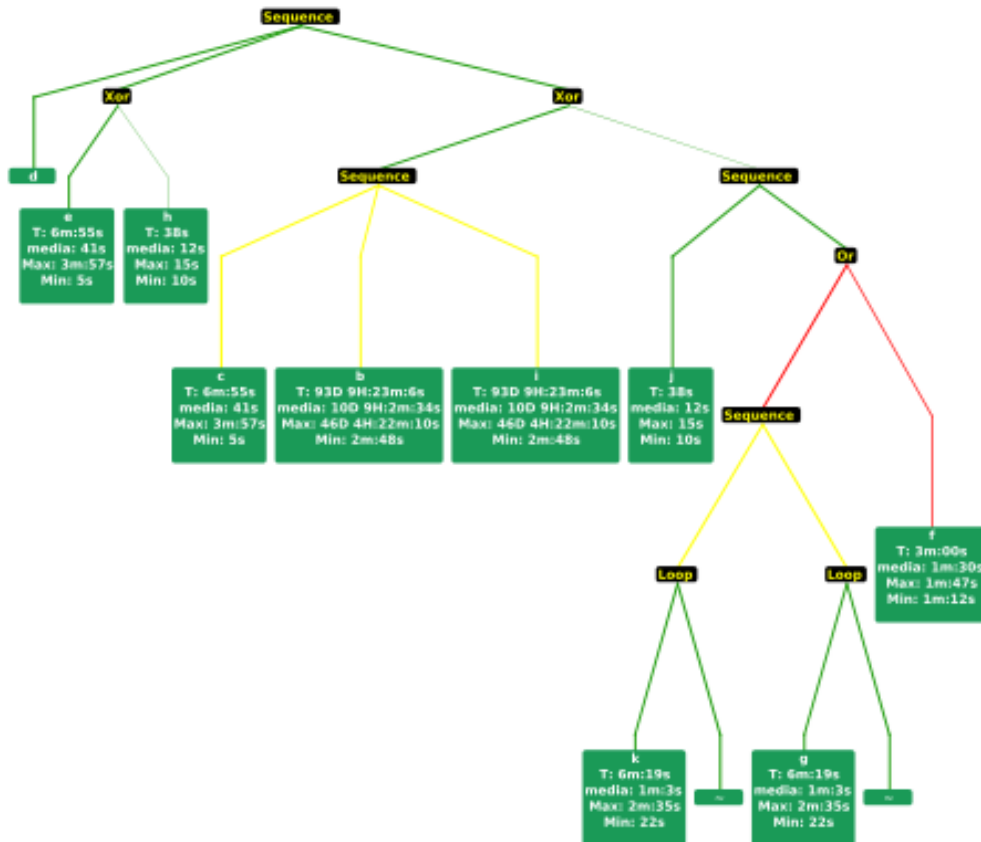


Figura 3.13. Variantes alternativas del proceso Solicitar productos. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 3.13 Variants Miner identificó en el subproceso sol_licitacion una secuencia entre ver_detalle_sol_licitacion y un subproceso compuesto por modificar_solicitud_licitacion y aceptar_niveles. Luego de ejecutar la actividad ver_detalle_sol_licitacion el tiempo promedio para ejecutar las actividades modificar_solicitud_licitacion y aceptar_niveles es 1 minuto con 47 segundos y 1 minuto con 3 segundos respectivamente. Esto indica que la secuencia identificada por lo general se ejecuta relativamente rápido. La secuencia identificada implica que la

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

ejecución del proceso no puede concluir en `ver_detalle_sol_licitacion`, debido a que todas las instancias que contiene el registro de eventos analizado han concluido con `aceptar_niveles` y no han llegado al final del proceso.

En el subproceso `sol_bq` existen 10 trazas que contiene la actividad `ver_detalle_sol_bq` con un tiempo de ejecución promedio de 3 minutos con 57 segundos. Por su baja frecuencia este comportamiento suele ser descartado por otras técnicas, sin embargo, para la presente investigación es útil mostrar todo lo que sucede dentro del proceso. La baja frecuencia de esta alternativa se refleja en el grosor de la arista correspondiente en el modelo de proceso, esto indica que la mayoría de las solicitudes de bloque quirúrgico han sido despachadas.

Esta técnica no identifica la secuencia entre `despacho_sol_bq` y el subproceso constituido por `modificar_pedido_bq` y una actividad invisible, los modelos correspondientes a las Figuras 3.5 y 3.9 identifican la relación. Sin embargo, se infiere del modelo que estas actividades se repiten en cualquier orden, teniendo en cuenta que, según las trazas antes de repetir un despacho de solicitud siempre se realiza una modificación del pedido de bloque quirúrgico, existiendo un camino alternativo al final del proceso.

Al modelar el proceso con la técnica Replay P/C se obtiene el resultado mostrado en la Figura 3.14.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

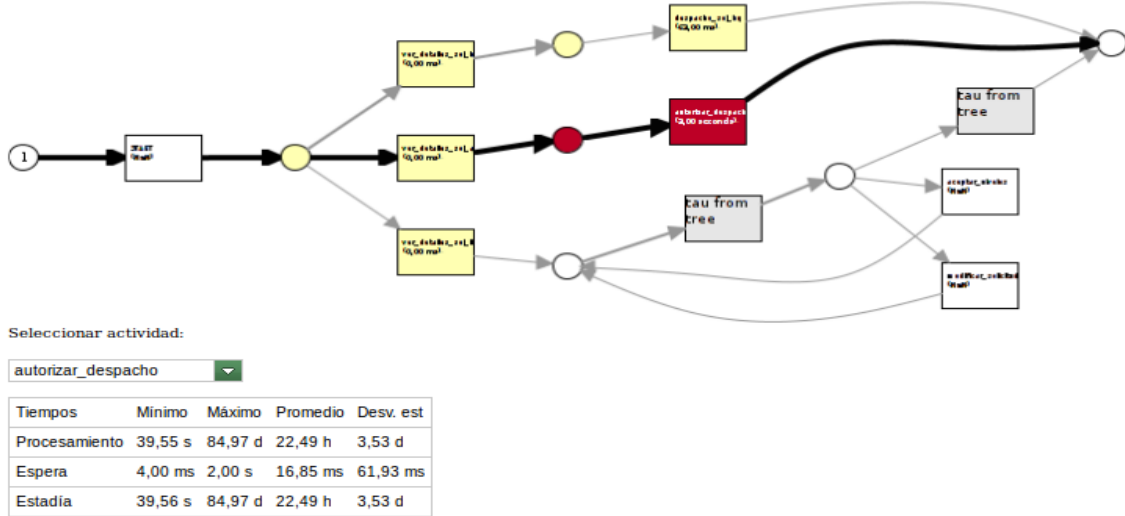


Figura 3.14. Modelo de proceso obtenido al aplicar la técnica Replay P/C. Fuente: elaboración propia.

Luego de analizar el modelo, se constata que en la actividad Autorizar despacho los tiempos de demora son elevados, haciendo que en esta actividad se detecte un cuello de botella. Los tiempos de respuesta promedio en la actividad son de 22 horas, esto puede ocurrir por ineficiente gestión de los recursos o por insuficiencias de los profesionales que se encargan de la actividad. La desviación típica entre los usuarios que inciden sobre esta actividad se encuentra en el rango de 20 horas a 4 días, lo cual, según expertos estadísticos es excesivo.

La Figura 3.15 muestra la interacción de diferentes usuarios con las actividades del proceso.

Recurso	Actividad	Tiempo Restante Mínimo	Tiempo Restante Máximo	Tiempo Restante Promedio	Desviación Estándar
gonzalezrtz@pdvsa.com	ver detalles sol almacen+complete	40 m 58 s	40 m 58 s	40 m 58 s	0 s
bastidasct@pdvsa.com	autorizar despacho+start	10 m 0 s	23 d 21 h 8 m 45 s	1 d 5 h 56 m 10 s	3 d 5 h 43 m 14 s
root	aceptar niveles+start	24 s	4 m 36 s	1 m 50 s	1 m 40 s
rosaleszm@pdvsa.com	ver detalles sol almacen+complete	39 m 41 s	1 d 0 h 32 m 26 s	13 h 33 m 13 s	9 h 52 m 54 s
gonzalezrtz	autorizar despacho+start	3 m 23 s	2 d 23 h 18 m 57 s	15 h 57 m 18 s	20 h 22 m 55 s
rodriguezjgg@pdvsa.com	ver detalles sol almacen+complete	9 m 41 s	9 m 41 s	9 m 41 s	0 s
ACEBEDOR@pdvsa.com	autorizar despacho+start	3 m 16 s	35 d 23 h 25 m 53 s	1 d 14 h 4 m 0 s	4 d 23 h 39 m 6 s
root	autorizar despacho+complete	0 s	0 s	0 s	0 s
blancas@pdvsa.com	ver detalles sol almacen+complete	3 m 36 s	21 h 25 m 13 s	11 h 30 m 44 s	9 h 55 m 6 s
bastidasct@pdvsa.com	ver detalles sol almacen+complete	10 m 15 s	10 m 15 s	10 m 15 s	0 s

Figura 3.15. Tiempos de ejecución restante de las actividades del sistema. Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

La Figura 3.15 indica que en la actividad autorizar despacho la tendencia es a demorar las solicitudes, esto explica la causa de que exista un cuello de botella en el flujo del proceso Solicitar productos y las desviaciones detectadas utilizando la técnica *Inductive visual Miner*.

El experimento permitió constatar que existe variabilidad en la ejecución del proceso Solicitar productos del sistema XAVIA HIS y que el modelo es efectivo para detectarla. Los elementos identificados se traducen en acciones estratégicas para la toma de decisiones por parte de los administrativos y el personal facultado en las instituciones sanitarias, por lo que ayuda a su planificación, gestión y control, sobre la base de la ejecución de los distintos procesos.

3.2.2 Valoración por los expertos del modelo elaborado

Para conocer la opinión de los expertos sobre la contribución del modelo elaborado para la detección y análisis de variabilidad en procesos hospitalarios, fue aplicado el escalamiento de Likert (Likert, 1932). La escala psicométrica creada por Rensis Likert en 1932 (también conocida como método de evaluaciones sumarias) fue aplicada en esta investigación a través de un cuestionario con el objetivo de conocer el nivel de acuerdo o desacuerdo con las características, principios y componentes del modelo MDV. Se definieron una serie de aspectos para valorar los siguientes elementos:

1. Principios del modelo.
2. Estructura general del modelo.
3. Estructura detallada del modelo.
4. Factibilidad de aplicar el modelo.
5. Pertinencia del modelo.

- **Proceso de selección de expertos.**

Se realizó una valoración inicial de los posibles expertos para la validación del modelo. En el proceso de selección de expertos para valorar un modelo como este, se consultó

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

especialistas con experiencia en la gestión hospitalaria y la toma de decisiones sobre los servicios que se brindan y los recursos que se gestionan. Para ello se evaluó sus conocimientos sobre las técnicas, tecnologías y elementos fundamentales para el modelado y representación de modelos de procesos en el entorno hospitalario y la identificación de variabilidad en su ejecución.

Los expertos seleccionados pertenecen a las instituciones sanitarias: Hospital “Hermanos Ameijeiras”, Clínica Central Cira García, Hospital provincial “Camilo Cienfuegos”, Dirección Provincial de Salud Pública Sancti Spíritus y la Dirección Municipal de Salud Pública Sancti Spíritus. De una cantidad inicial de 32 posibles expertos estuvieron dispuestos a participar y colaborar con la investigación 21, siendo todos seleccionados debido a que su coeficiente de competencias estuvo igual o superior a 0,7. De los expertos, 20 obtuvieron un coeficiente de competencia alto y 1 de ellos medio. El procedimiento empleado para determinar el coeficiente de competencia de los candidatos a expertos, así como los resultados obtenidos pueden ser consultados en el Anexo 19. La muestra estuvo compuesta por 2 asesores de registros médicos, 8 estadísticos, 4 funcionarios de salud pública, 4 directores de instituciones hospitalarias y 3 especialistas en economía.

- **Aplicación del escalamiento de Likert**

Las preguntas del cuestionario diseñado (Anexo 20) están enfocadas a obtener las valoraciones de los expertos en función de los indicadores definidos y los problemas identificados. Estas preguntas representan 10 aspectos relevantes del modelo propuesto. El experto expresa su valoración de cada indicador mediante la siguiente escala: 5- muy de acuerdo (MA), 4- de acuerdo (DA), 3- ni de acuerdo ni en desacuerdo (Sí-No), 2- en desacuerdo (ED) y 1- completamente en desacuerdo (CD).

A continuación se procesan los resultados mediante la escala Likert.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para el procesamiento de los resultados se empleó un método que consiste en identificar la frecuencia en cada categoría de la escala de Likert definida en la encuesta realizada y se calculan los por cientos de concordancia de cada categoría de acuerdo a las características propuestas por el autor. Luego se calcula en un índice porcentual (IP), que integra en un solo valor la aceptación del grupo de evaluadores sobre las características del modelo, como indica la Fórmula 3.1.

$$IP = \frac{5 (\% \text{ de } MA) + 4 (\% \text{ de } DA) + 3 (\% \text{ de } SI-NO) + 2 (\% \text{ de } ED) + 1 (\% \text{ de } CD)}{5} \quad (3.1)$$

La Figura 3.16 muestra un gráfico con el índice porcentual de los expertos en cada una de las preguntas, que como se observa sobrepasan el valor de 80. La confiabilidad de las respuestas fue validada usando el coeficiente Alpha de Cronbach (con apoyo de la herramienta estadística SPSS 22.0), obteniéndose como resultado 0,78.

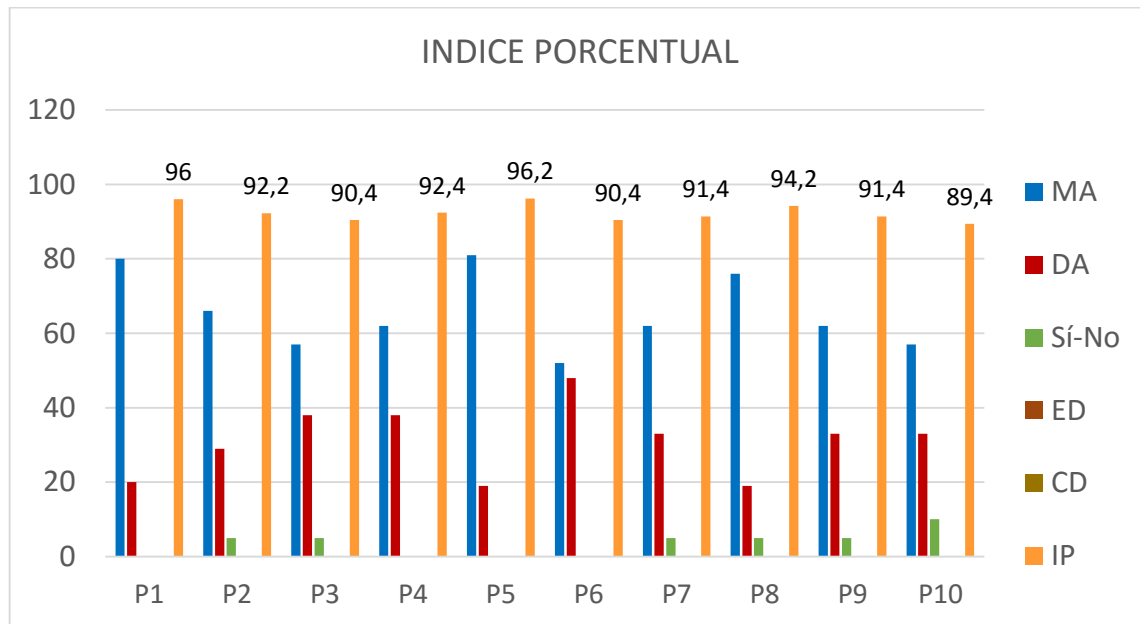


Figura 3.16. Resultados de la aplicación de la escala de Likert. Fuente: elaboración propia.

El procesamiento realizado a través del escalamiento de Likert evidencia que tanto los elementos teóricos como las características y las funciones de los componentes del modelo, así como sus principios, tienen una alta valoración por parte de los expertos.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Durante el proceso se constataron criterios favorables para el uso y aplicación del modelo para apoyar la gestión hospitalaria y la toma de decisiones.

3.2.3 Evaluación de la satisfacción por usuarios potenciales de MDV

El conocimiento de la satisfacción de usuarios potenciales del modelo MDV, es de gran utilidad para la toma de decisiones sobre el diseño y validación de la propuesta. La Técnica de ladov constituye una vía para el estudio del grado de satisfacción de los implicados en el proceso objeto de análisis. Para el desarrollo de esta técnica se aplicó una encuesta que permitió conocer el grado de satisfacción con respecto al modelo MDV. La misma ha sido aplicada para valorar la satisfacción en múltiples campos y como parte de diagnósticos y validaciones en diferentes investigaciones (Febles, 2012).

El autor de esta investigación usó esta técnica específicamente para medir la satisfacción de usuarios potenciales con relación al modelo para detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.

La técnica de ladov se basa en el análisis de un cuestionario que tiene una estructura interna determinada que sigue una relación entre tres cuestionamientos cerrados y el análisis posterior de dos cuestiones abiertas. La relación entre las preguntas cerradas se establece a través del denominado "Cuadro Lógico de ladov".

Luego de aplicado el cuestionario y haber triangulado las preguntas cerradas en el Cuadro Lógico de ladov (ver Anexo 21), el número resultante de la interrelación de las tres preguntas cerradas indica la posición de cada cual en dicha escala de satisfacción.

Para ponderar el ISG se establece una escala numérica entre +1 y -1 como se muestra en la fórmula 3.2:

$$ISG = \frac{A (+1) + B (+0.5) + C (0) + D (-0.5) + E (-1)}{N} \quad (3.2)$$

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para medir la satisfacción se tomó una muestra de 27 usuarios potenciales, teniendo en cuenta los años de experiencia en la gestión hospitalaria, entre otros factores. El cuestionario realizado se encuentra en el Anexo 21.

Tabla 9. Distribución de los usuarios por escalas de años de experiencia en el trabajo que desempeñan.

Años de experiencia	Cantidad de usuarios
Entre 0 y 5 años	4
Entre 5 y 10 años	9
Entre 10 y 15 años	6
Más de 15 años	8

Todos los especialistas consultados son profesionales de la salud vinculados a la gestión hospitalaria, las encuestas se aplicaron de enero a marzo del 2016 en cinco hospitales y clínicas.

La figura 3.17 muestra los resultados de la aplicación de la técnica ladov. El valor obtenido del ISG fue de 0,87, lo que indica satisfacción de potenciales usuarios con respecto al modelo propuesto.

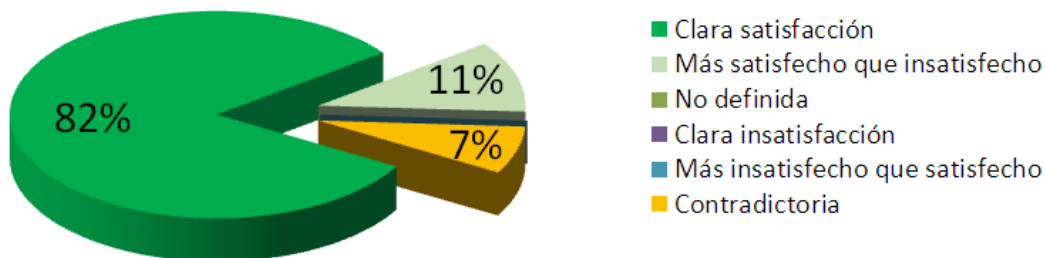


Figura. 3.17. Resultados de la aplicación de la técnica de ladov y valor del índice de satisfacción grupal (ISG). Fuente: elaboración propia.

La técnica de ladov contempla además dos preguntas complementarias de carácter abierto. Estas son importantes al permitir profundizar en las causas que originan los diferentes niveles de satisfacción y se plantearon sugerencias de utilidad para la presente y futuras investigaciones.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Entre las principales recomendaciones de los usuarios potenciales estuvieron:

- La incorporación de un mecanismo que recomiende acciones a realizar una vez identificados los elementos de variabilidad presentes en un proceso.
- Crear una estrategia de capacitación para el uso efectivo del modelo materializado en sistemas de información de salud.
- Almacenar en una base de casos las decisiones tomadas durante la aplicación del modelo para sugerirlas ante situaciones similares.

Las recomendaciones son agrupadas y propuestas en las recomendaciones generales de la investigación.

3.2.4 Entrevista en profundidad

Una entrevista en profundidad es básicamente una técnica basada en el juego conversacional. Una entrevista es un diálogo, preparado, diseñado y organizado en el que se dan los roles de entrevistado y entrevistador. Estos dos roles, aunque lo parezca en el escenario de la entrevista, no desarrollan posiciones simétricas. Los temas de la conversación son decididos y organizados por el entrevistador (el investigador), mientras que el entrevistado despliega a lo largo de la conversación elementos cognoscitivos (información sobre vivencias y experiencias), creencias (predisposiciones y orientaciones) y deseos (motivaciones y expectativas) en torno a los temas que el entrevistador plantea. La entrevista en profundidad por lo tanto supone una conversación con fines orientados a los objetivos de una investigación social (Taylor & Bogdan, 1987; Taylor & Bogdan, 2008).

Para la entrevista fue seleccionada la Dra. Norma Eneida Ríos Massabot, con 56 años de experiencia en el tema de investigación. Autora de disímiles investigaciones y libros sobre las estadísticas y los servicios hospitalarios de Cuba (Ríos et al., 1998; Ríos et al., 2002; Ríos et al., 2005). Durante su carrera ocupó diferentes responsabilidades en el Ministerio de Salud Pública, todos relacionados a los registros médicos y las

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

estadísticas. La Figura 3.18 muestra la estrategia seguida para la realización de la entrevista.

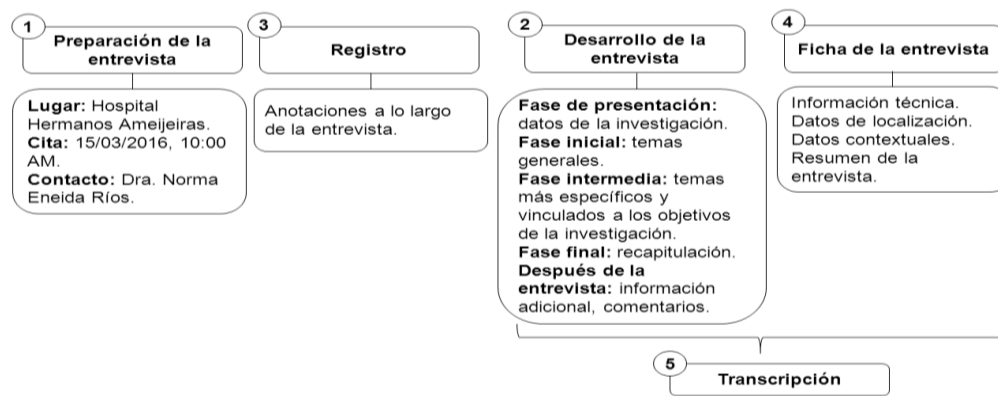


Figura 3.18. Estrategia seguida para la realización de la entrevista. Fuente: elaboración propia.

El Anexo 22 muestra los temas abordados en la entrevista, entre los principales resultados obtenidos destacan:

- La novedad de la investigación.
- Alta correspondencia de la investigación hacia las tendencias internacionales de los nuevos paradigmas enfocados a la medicina basada en evidencias.
- La validez del modelo MDV para detectar variabilidad de forma sencilla y rápida.
- Los beneficios sociales y económicos que puede traer su aplicación en el entorno sanitario cubano.
- Lo adecuado de los principios para la aplicación del modelo en el entorno hospitalario.

3.2.5 Grupo Focal

El Grupo Focal es una técnica que consiste en la discusión por grupos pequeños de personas, donde se expresan libre y espontáneamente acerca un tema, la discusión es guiada por un moderador y se registran todos los criterios que se emiten (Gibbs, 1997)

La aplicación de esta técnica permite conocer los criterios e introducir mejoras en la propuesta, a partir del intercambio con personas que pueden aportar criterios y

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

valoraciones importantes sobre la solución dada al problema de la investigación y fomenta que se expresen abierta y claramente en este sentido (Arza, 2013).

La muestra estuvo conformada por 11 especialistas de la Dirección Municipal y Provincial de Salud Pública de Sancti Spíritus, el Anexo 24 refleja su composición. Se seleccionaron además dos personas que no tienen relación directa con la investigación para que participaran como observador y otro para que llevara la relatoría de una forma imparcial.

Para la conducción de la actividad fue diseñado un guión que propicia un debate productivo, el Anexo 25 muestra los detalles del mismo. Se tuvo en cuenta para su confección que la actividad debe comportarse como una entrevista abierta pero estructurada donde se realice el debate en base a las experiencias personales y al conocimiento que poseen sobre la temática cada uno de los especialistas.

Durante el proceso de desarrollo del grupo focal se arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 10. Consenso de criterios sobre las preguntas realizadas.

Pregunta	Criterios
1	Mayoría de criterios positivos
2	Unanimidad de criterios positivos
3	Unanimidad de criterios positivos
4	Mayoría de criterios positivos
5	Unanimidad de criterios positivos
6	Unanimidad de criterios positivos

- Sobre los principales aspectos analizados, los participantes mostraron una gran satisfacción respecto a: los componentes del modelo, sus beneficios y alcance.
- Permitted reajustar la redacción de los principios (d) y (e) del modelo MDV.
- Todos se pronunciaron positivamente en cuanto a la contribución del modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

- Todos consideraron que el modelo es novedoso, pertinente y actual para ser aplicado en el entorno sanitario.
- En general las opiniones fueron satisfactorias.

Se realizaron algunas recomendaciones que se tuvieron en cuenta en el perfeccionamiento del modelo propuesto en esta investigación. Las más significativas fueron las siguientes:

- Valorar la incorporación de análisis más específicos de áreas hospitalarias.
- Valorar la incorporación de los criterios y experiencias de los profesionales de la salud a los resultados del modelo para contribuir a la toma de decisiones.
- Valorar la incorporación de otros métodos de la medicina basada en evidencias para complementar los resultados.

Tratamiento de las recomendaciones

- La recomendación 1 se propone como recomendación general para dar continuidad a la investigación.
- La recomendación 2 se tuvo en cuenta en el modelo debido a que no impone una acción, sino refleja el resultado de ejecución de los procesos. Es flexible al propiciar el análisis sobre algún elemento identificado en diferentes modelos.
- La recomendación 3 se evidencia en el modelo a partir de la incorporación de un conjunto de estadísticas e indicadores hospitalarios como indica la tabla 11.

Tabla 11. Indicadores estadísticos de MDV.

Indicadores	
Estadía hospitalaria	Tiempo de estadía mínimo
	Tiempo de estadía máximo
	Tiempo de estadía promedio
	Desviación típica
Tiempo de espera	Tiempo de espera mínimo
	Tiempo de espera promedio

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tiempo de servicio	Tiempo de espera máximo
	Desviación típica
	Tiempo de ejecución mínimo
	Tiempo de ejecución máximo
	Tiempo de ejecución promedio
Tiempo restante	Desviación típica
	Tiempo restante mínimo
	Tiempo restante máximo
	Tiempo restante promedio
	Desviación típica

3.3 Triangulación metodológica de los métodos científicos aplicados

Cowman define la triangulación metodológica como: “la combinación de múltiples métodos en un estudio del mismo objeto o evento para abordar mejor el fenómeno que se investiga” (Cowman, 1993). Para la presente investigación se utiliza la triangulación de métodos, con el objetivo de validar los datos recolectados tanto cualitativos como cuantitativos a partir de la aplicación de los métodos experimento, grupo focal, escalamiento de Likert, la técnica ladov y la entrevista a profundidad.

Tabla 7. Resultados de la triangulación metodológica.

Objetivo a evaluar	Métodos Cualitativos	Métodos cuantitativos	Conclusión
Desarrollar un modelo para detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.	<p>Grupo Focal: para obtener valoraciones y criterios de personas.</p> <ul style="list-style-type: none"> Criterios positivos expresados por unanimidad o mayoría de criterios. <p>Entrevista en profundidad: para obtener valoraciones sobre el impacto, la novedad y la pertinencia de la propuesta.</p> <ul style="list-style-type: none"> Todas las respuestas fueron satisfactorias y se 	<p>Escalamiento de Likert: para obtener valoraciones de la propuesta dada por expertos.</p> <ul style="list-style-type: none"> En todos los casos se obtuvo un grado de concordancia por encima del 89%. <p>Técnica de ladov: para comprobar el nivel de satisfacción de los usuarios con los resultados del modelo.</p> <ul style="list-style-type: none"> Índice de 	Validez del modelo MDV para detectar variabilidad en procesos hospitalarios.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

	<p>destacó la novedad del modelo para el entorno hospitalario.</p> <p>Método de comparación: para comprobar si se disminuye la complejidad del modelo con respecto a equivalentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se destaca el aporte del modelo en cuanto a la reducción de complejidad para aplicar minería de procesos. 	<p>satisfacción grupal obtenido de 0,87.</p> <p>Experimentación: para comprobar la capacidad de MDV para detectar variabilidad en procesos hospitalarios.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elementos de variabilidad detectados en los 2 experimentos realizados. 	
--	---	---	--

3.4 Valoración del impacto del modelo propuesto

La investigación es novedosa, actual y pertinente con un impacto importante en el sector de la salud, teniendo en cuenta que los sistemas de salud actualmente tienden a orientarse hacia la medicina basada en evidencias. La minería de procesos constituye una tecnología novedosa y poco explorada en sistemas de información sanitaria en el mundo y en Cuba no existe registro de su utilización. La novedad de la propuesta se refleja en la concepción y fundamentación de un modelo para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios basado en la integración de técnicas de minería de procesos.

Cuba es un pilar fundamental para el desarrollo social y la salud de diversos países y regiones. Las investigaciones relacionadas a la salud en Cuba constituyen en gran medida la avanzada del sector para Latinoamérica y otras regiones. El análisis de los procesos de negocio en las instituciones del sector de la salud constituye un enfoque moderno y recomendable, en función de apoyar la gestión y toma de decisiones sobre importantes funciones gerenciales. Las investigaciones asociadas al mejoramiento del

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

sistema sanitario, la planificación, gestión y control de los recursos repercutirán en la calidad del proceso de atención a pacientes y al ahorro 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.

Desde el punto de vista económico, el modelo desarrollado es de utilidad para la gestión hospitalaria, el cual propicia una alternativa basada en datos reales de ejecución para la planificación, el control y la gestión de los recursos. La utilización del modelo propuesto contribuye a la detección y disminución de la variabilidad de los procesos y en consecuencia incidirá positivamente en el ahorro de tiempo, de recursos humanos y materiales empleados para el análisis de procesos hospitalarios. La implementación del modelo contribuye a la apropiación de tecnologías y su adaptación a las necesidades del proceso de informatización de la sociedad cubana, lo cual permite ahorros económicos por conceptos de importación de tecnologías de la información. Además, contribuye a la retroalimentación de los HIS y su evolución tecnológica, al evidenciar problemas a nivel de negocio que pueden surgir durante su explotación en las instituciones sanitarias.

En el orden social (también económico), el modelo MDV contribuye a reordenar flujos asistenciales, mejorar el proceso de atención a pacientes, distribuir personal en los horarios de mayor afluencia, controlar y gestionar con mayor eficiencia los recursos.

3.5 Conclusiones del capítulo

- La materialización del modelo MDV en el sistema XAVIA HIS:
 - ✓ Propició evaluar su pertinencia y factibilidad para su uso en el entorno sanitario cubano.

CAPÍTULO 3: INSTRUMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS

- ✓ Contribuyó al proceso de informatización del sector de la salud cubano, al fortalecer el sistema con una herramienta para el análisis táctico estratégico sobre los procesos de sus instituciones.
- ✓ Permitió la apropiación de nuevas tecnologías para su uso por profesionales cubanos, lo cual ahorra económicamente al país por conceptos de importación.
- Se comprobó la importancia de los componentes elaborados como parte del modelo propuesto, así como sus relaciones y funcionalidades.
- El modelo integra satisfactoriamente los procesos de extracción y transformación de trazas en registros de eventos y de modelación y detección de variabilidad, lo cual disminuye la complejidad de aplicación con respecto a los modelos equivalentes.
- Se consideran fundamentales los resultados obtenidos a partir de la aplicación de los métodos científicos, los cuales avalaron satisfactoriamente el modelo propuesto para detectar variabilidad en procesos hospitalarios.
- Las recomendaciones de los expertos durante la aplicación de diferentes métodos repercutieron en la mejora del modelo MDV.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se ratifica que los modelos, herramientas y tecnologías existentes en la literatura presentan insuficiencias y/o limitaciones para la detección y análisis de variabilidad en procesos hospitalarios.
2. En Cuba existe necesidad de detectar variabilidad en los procesos hospitalarios para apoyar la gestión sanitaria, evidenciado en el diagnóstico realizado y la alta confiabilidad de los resultados obtenidos.
3. La selección de las técnicas de minería de procesos está acorde a las necesidades de análisis en el entorno sanitario; se verificó que son las de preferencia internacional por su facilidad de uso y la confiabilidad de los resultados.
4. Con los elementos teóricos y prácticos más actuales de las ciencias informáticas y teniendo en cuenta el diagnóstico realizado, se desarrolló un modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios, utilizando las técnicas de minería de procesos seleccionadas.
5. La instrumentación del modelo en el sistema cubano XAVIA HIS demostró su aplicabilidad y viabilidad, además contribuye al proceso de informatización de la salud en Cuba.
6. Los métodos científicos utilizados para la validación del modelo, permitieron comprobar que los constructos del mismo están alineados a las tecnologías más actuales; existen opiniones favorables y una alta satisfacción de usuarios potenciales con respecto a la aplicabilidad, actualidad y novedad del modelo.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones y como continuidad de la actual se recomienda:

- Incorporar al modelo un sistema de recomendación, para contribuir a la toma de decisiones a partir de los elementos de variabilidad detectados.
- Continuar la investigación para abordar el problema de los descriptores e indicadores de variabilidad en la práctica clínica.
- Generalizar el modelo propuesto a otros sectores sociales donde se cumplan los requisitos para su implementación.
- Elaborar una estrategia, para la reducción de la variabilidad en procesos hospitalarios, a partir del modelo propuesto.
- Continuar disminuyendo la cantidad de elementos técnicos que debe dominar un especialista de la gestión hospitalaria para el uso efectivo de la propuesta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. Abreu, M., Reyes, A. M., Orellana, A., & Sarmiento, E. E. 2015. Componente web para detectar incongruencias en procesos hospitalarios personalizando el plugin Heuristic Miner de ProM. Serie Científica -Universidad de las Ciencias Informáticas, Vol.8 no. 2.
- [2]. Accorsi, R., Stocker, T., & Müller, G. (2013). On the exploitation of process mining for security audits: the process discovery case. In Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing, p. 1462-1468.
- [3]. Adriansyah, A., (2012). Replay a Log on Petri Net for Performance/ Conformance Plug-in. Technische Universiteit Eindhoven.
- [4]. Adriansyah, A. & van der Aalst, W.M.P. (2012) Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, Vol. 2, no. 2, p. 182-192.
- [5]. Agrawal, R., Gunopulos, D. & Leymann, F. (1998). Process Mining Models from Workflow Logs, Sixth International Conference on Extending Database Technology, p. 469-483.
- [6]. Alves De Medeiros, A.K., Weijters, A.J.M.M. & van der Aalst, W.M.P., (2007), Genetic Process Mining: An Experimental Evaluation. Vol. 14, no. 2, p. 245–304.
- [7]. Amortegui, P., Pomares, A., & Torres, M. (2014, September). 4Med requirements process in E-Health applications. In 9th Computing Colombian Conference (9CCC) IEEE, p. 42-47.
- [8]. Antonelli, D. & Bruno, G. (2015). Application of process mining and semantic structuring towards a lean healthcare network, in: Risks and Resilience of Collaborative Networks, Springer, p.497-508.
- [9]. Arango, P., Cabrera, L., & de Mendoza, J. H. (2015). Necesidad de un sistema informático de registro y control en Anatomía Patológica para la red hospitalaria en Cuba. Revista Cubana de Informática Médica, Vol. 7 no. 2, p. 185-195.
- [10]. Arza, L. (2013). Modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de estudiantes en la industria de software. Tesis Doctoral, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [11]. Asencio, J. M. M., Jiménez, E. G., Santos, F. M., Herrera, J. C. M., Fernández, J. T., & Barbosa, C. R. (2003). Guías de práctica clínica: ¿Mejoran la efectividad de los cuidados? *Enfermería Clínica*, Vol. 13 no.1, p. 41-47.
- [12]. 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.
- [13]. Bataller, E. (2015). Modelización de los costes del proceso de atención sanitaria a los pacientes con insuficiencia cardiaca crónica y desarrollo de un modelo predictivo de consumos. Aplicación a un área de salud de atención integral (Doctoral dissertation).
- [14]. 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*, Vol. 13 no. 35.
- [15]. Benghazi, K., Bullejos, J. L. G., & García, M. N. (2011). Introducción al Modelado de Procesos de Negocio.
- [16]. Ben-Tovim, D. I., Bassham, J. E., Bolch, D., Martin, M. A., Dougherty, M., & Szwarcbord, M. (2007). Lean thinking across a hospital: redesigning care at the Flinders Medical Centre. *Australian Health Review*, Vol. 31 no. 1, p. 10-15.
- [17]. Binder, M., Dorda, W., Duftschmid, G., Dunkl, R., Froschl, K. A., Gall, W., Grossmann, W., Harmankaya, K., Hronsky, M., Rinderle-Ma, S., Rinner, C. & S. Weber. (2012). Analyzing process compliance in skin cancer treatment: An experience report from the evidence-based medical compliance cluster (EBMC2). *Advanced Information Systems Engineering - 24th International Conference, CAiSE 2012. Proceedings*, Vol. 7328 of Lecture Notes in Computer Science, p. 398–413.
- [18]. Bose, R. P. J. C. & van der Aalst, W. M. P. (2011). Analysis of patient treatment procedures, in *Business Process Management Workshops - BPM 2011 International Workshops*, Vol. 99 of Lecture Notes in Business Information Processing, Springer, p. 165–166.
- [19]. Bouarfa, L. & Dankelman, J. (2012) Workflow mining and outlier detection from clinical activity logs, *Journal of Biomedical Informatics*, Vol. 45 no. 6, p. 1185-1190.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [20]. Bozkaya, M., Gabriels, J. & van der Werf, J. M. (2009). Process Diagnostics: a Method Based on Process Mining. In The International Conference on Information, Process, and Knowledge Management, Cancun, México.
- [21]. Buijs, J. C., Van Dongen, B. F., & van der Aalst, W. M. (2012). On the role of fitness, precision, generalization and simplicity in process discovery. In On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2012, Springer Berlin Heidelberg, p. 305-322.
- [22]. Burattin, A., Sperduti, A., & van der Aalst, W. M. (2012). Heuristics miners for streaming event data. arXiv preprint arXiv:1212.6383.
- [23]. Busby, J., Purdy, S., & Hollingworth, W. (2015). A systematic review of the magnitude and cause of geographic variation in unplanned hospital admission rates and length of stay for ambulatory care sensitive conditions. BMC health services research, Vol. 15, no. 1, p. 1.
- [24]. Cabanach, R. G., Valle, A., Rodríguez, S., Piñeiro, I., & González, P. (2015). Las creencias motivacionales como factor protector del estrés en estudiantes universitarios. European Journal of Education and psychology, Vol. 3, no. 1.
- [25]. Caron, F., Vanthienen, J. & Baesens, B. (2013). Healthcare analytics: Examining the diagnosis–treatment cycle, Procedia Technology, Vol. 9, p. 996-1004.
- [26]. Caron, F., Vanthienen, J., Vanhaecht, K., Van Limbergen, E., Deweerdt, J., Baesens, B., et al. (2014). A process mining-based investigation of adverse events in care processes, Health Information Management Journal, Vol. 43 no. 1, p. 16-25.
- [27]. Castañeda, L., Valladares, A., & Orellana, A. 2015. Componente para el análisis de procesos hospitalarios aplicando la perspectiva temporal de minería de procesos. Serie Científica-Universidad de las Ciencias Informáticas, Vol.8 no. 2.
- [28]. Claes, J., & Poels, G. (2013). Process mining and the ProM framework: an exploratory survey. In Business Process Management Workshops. Springer Berlin Heidelberg, p. 187-198.
- [29]. Collen, M. F., & Detmer, D. E. (2015). Multi-Hospital Information Systems (MHISs). Springer London.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [30]. 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 (TOSEM)*, Vol. 8 no. 2, p. 147-176.
- [31]. Cowman, S. (1993). Triangulation: a means of reconciliation in nursing research. *Journal of Advanced Nursing*, Vol. 18, no. 5, p. 788-792.
- [32]. Cuartas, H. S. (2012). Estandarización en los procesos de producción en la empresa Construcciones Cuartas.
- [33]. Cho, M., Song, M. & Yoo, S. (2014). A systematic methodology for outpatient process analysis based on process mining, in: *Asia Pacific Business Process Management*, Springer, p. 31-42.
- [34]. Dadam, P., Reichert, M., & Kuhn, K. (2000). Clinical workflows-the killer application for process oriented information systems. In *Proc. 4th Int. Conf. on Business Information Systems*, p. 36–59.
- [35]. Davenport, T. H. (2013). *Process innovation: reengineering work through information technology*. Harvard Business Press.
- [36]. Delias, P., Doumpos, M., Grigoroudis, E., Manolitzas, P. & Matsatsinis, N. (2015). Supporting healthcare management decisions via robust clustering of event logs, *Knowledge-Based Systems*. Vol. 84 p. 203-213.
- [37]. De Regge, M., Gemmel, P., Verhaeghe, R., Hommeez, G., Degadt, P., & Duyck, P. (2015). Aligning service processes to the nature of care in hospitals: an exploratory study of the impact of variation. *Operations Management Research*, Vol. 8 no. 1-2, p. 32-47.
- [38]. De Weerd, J., Schupp, A., Vanderloock, A., & Baesens, B. (2013). Process mining for the multi-faceted analysis of business processes-A case study in a financial services organization. *Computers in Industry*, Vol. 64 no. 1, p. 57-67.
- [39]. Dickson, E. W., Anguelov, Z., Vetterick, D., Eller, A., & Singh, S. (2009). Use of lean in the emergency department: a case series of four hospitals. *Annals of emergency medicine*, Vol. 54 no. 4, p. 504-510.
- [40]. Dumas, M., van der Aalst, W. M. P. & ter Hofstede, A. H. M. (2005). *Process-Aware Information Systems: Bridging People and Software through Process Technology*, Wiley.
- [41]. Dunkl, R., Froschl, K. A., Grossmann, W. & Rinderle-Ma, S. (2011). Assessing medical treatment compliance based on formal process modeling, in: *Information Quality in e-Health - 7th Conference of the Workgroup Human-*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2011, Graz, Austria, p. 533-546.
- [42]. Ellson, J., Gansner, E. R., Koutsofios, E., North, S. C., & Woodhull, G. (2004). Graphviz and dynagraph—static and dynamic graph drawing tools. In Graph drawing software. Springer Berlin Heidelberg, p. 127-148.
- [43]. Escudero, V., Ramón, A., Duart, M. J., Perez, J. J., & Valenzuela, B. (2012). Farmacocinética poblacional de doxorubicina aplicada a la personalización de su dosificación en pacientes oncológicos. *Farmacia Hospitalaria*, vol. 36 no. 4, p. 282-291.
- [44]. Febles, O. MIDAC: Modelo para el desarrollo de aplicaciones compuestas basadas en Arquitecturas Orientadas a Servicios, Director: V. Estrada Sentí and J.P. Febles Rodríguez. Tesis de doctorado, Facultad 5, Universidad de las Ciencias Informáticas, 2012.
- [45]. Fei, H., Meskens, N., et al. (2008). Discovering patients care process models from event logs. *The 8th International Conference of Modeling and Simulation, MOSIM 2008*, Vol. 10, p. 10-12.
- [46]. Fernández-Maya, J. (2015). Variabilidad de la práctica clínica en la manipulación del reservorio subcutáneo en los hospitales de día de España. Tesis Doctoral. Universidad de Alicante, España.
- [47]. Fernández-Llatas, C., Benedi, J.M., García-Gómez, J. M. & Traver, V., (2013). Process mining for individualized behavior modeling using wireless tracking in nursing homes, *Sensors*, Vol. 13 no. 11, p. 15434-15451.
- [48]. Fernández-Llatas, C., Lizondo, A., Monton, E., Benedi, J.M., Traver, V. (2015). Process mining methodology for health process tracking using real-time indoor location systems, *Sensors*, Vol. 15 no. 12 p. 29821–29840.
- [49]. Ferreira, L., Miranda, I., Simoes, R., & Cruz-Cunha, M. M. (2015). GuiMarket Specification Using the Unified Modeling Language. *Procedia Computer Science*, Vol. 64, p. 1263-1272.
- [50]. Figl, K., Recker, J., & Mendling, J. (2013). A study on the effects of routing symbol design on process model comprehension. *Decision Support Systems*, Vol. 54 no. 2, p. 1104-1118.
- [51]. Fischer, M. (2008). Aris process performance manager. MMB 2008.
- [52]. Flores, R. (2014). Metodología para la elaboración de procedimientos operacionales normalizados, aplicables al manual del aeródromo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [53]. Forsberg, D., Rosipko, B. & Sunshine, J. L. (2016). Analyzing PACS usage patterns by means of process mining: Steps toward a more detailed workflow analysis in radiology. *Journal of digital imaging*. Vol. 29 no. 1, p. 47–58
- [54]. Gallardo, H. C. C. (2014). La enfermera frente a los Eventos Adversos: Una Responsabilidad Ética y Moral. *Revista UNIMAR*, vol. 27 no. 3.
- [55]. Gao, X. (2013). Towards the next generation intelligent BPM—in the era of big data. In *Business Process Management*. Springer Berlin Heidelberg. p. 4-9.
- [56]. Gibbs, A., (1997). Focus Group. *Social Research Update*.
- [57]. Glover, J. A. (1938). The incidence of tonsillectomy in school children. *Indian Journal of Pediatrics*, Vol. 5 no. 4, p. 252-258.
- [58]. Glover, J. A. (2008). The incidence of tonsillectomy in school children. *International journal of epidemiology*, Vol. 37 no. 1, p. 9-19.
- [59]. González, V., & Alarcón, L. F. (2003). Buffers de Programación: una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción, PUC*, p. 109-119.
- [60]. Grando, M. A., van der Aalst, W. M. P. & Mans, R. (2011). Reusing a declarative specification to check the conformance of different cigs. *Business Process Management Workshops - BPM 2011 International Workshops*, Vol. 100 of *Lecture Notes in Business Information Processing*, pp. 188-199.
- [61]. Grando, M., Schonenberg, M. & van der Aalst, W. M. P. (2013). Semantic-based conformance checking of computer interpretable medical guidelines. *Biomedical Engineering Systems and Technologies*, pp. 285–300.
- [62]. Gualancañay, G., & Xavier, L. (2013). Automatización de procesos hospitalarios de control de pacientes infectados co VIH-SIDA en el Hospital de Infectología Dr. José Rodríguez Maridueña de la ciudad de Guayaquil.
- [63]. Günther, C., Rozinat, A., van der Aalst, W.M.P. & van Uden. K. (2008) Monitoring deployed application usage with process mining, *PM Center Report BPM*, p.1-8.
- [64]. Günther, C. W., & Rozinat, A. (2012). Disco: Discover Your Processes. *BPM (Demos)*, Vol. 940, p. 40-44.
- [65]. Hernández, A., Medina, A., Nogueira, D., & Marqués, M. (2010). El uso del case mix como un método de reducción de programas de producción hospitalaria y herramienta de apoyo a la gestión y mejora de procesos. Recuperado de <http://www.eumed.net/ce/2010a/nlrl.htm>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [66]. Hernández, A., Medina, A., & Nogueira, D. (2010a). Criterios para la elaboración de mapas de procesos. Particularidades para los servicios hospitalarios. *Ingeniería Industrial*, vol. 30 no. 2.
- [67]. Hernández, A. et al. (2013) Inserción de la gestión por procesos en instituciones hospitalarias. Concepción metodológica y práctica. *Revista de Administração-RAUSP*, vol. 48, no 4, p. 739-756.
- [68]. Hernández, A., et al. (2014). La caracterización y clasificación de sistemas, un paso necesario en la gestión y mejora de procesos. Particularidades en organizaciones hospitalarias. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, vol. 81 no.184, p. 193-200.
- [69]. Hernandez, J. E., Adams, T., Ismail, H., & Yao, H. (2016). Enhancing Antenatal Clinics Decision-Making Through the Modelling and Simulation of Patients Flow by Using a System Dynamics Approach. A Case for a British Northwest Hospital. In *International Conference on Decision Support System Technology*. Springer International Publishing, p. 44-55.
- [70]. Hinestroza, A. T., & López, G. M. (2014). Costos logísticos en empresas de servicios–Hospital Universitario. *Sotavento MBA*, Vol. 23, p. 90-107.
- [71]. James, J. (2013). A new, evidence-based estimate of patient harms associated with hospital care. *Journal of patient safety*, vol. 9 no. 3, p. 122-128.
- [72]. Jans, M. (2011). Process Mining of Event Logs in Internal Auditing: A Case Study. *The 2nd International Symposium on Accounting Information Systems, Italy*.
- [73]. Jans, M., Alles, M., & Vasarhelyi, M. (2013). The case for process mining in auditing: Sources of value added and areas of application. *International Journal of Accounting Information Systems*, Vol. 14 no. 1, p. 1-20.
- [74]. Jaramillo Llano, H. M. (2014). Contribución a la optimización del servicio al cliente en la empresa JCI aire acondicionado en la ciudad de Palmira período 2014-2016.
- [75]. 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.
- [76]. Kaymak, U., Mans, R., van de Steeg, T., Dierks, M. (2012). Process mining in health care, in: *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, SMC 2012*, p. 1859-1864.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [77]. Kelleher, D. C., R. Bose, J. C., Waterhouse, L. J., Carter, E. A. & Burd, R. S. (2014). Effect of a checklist on advanced trauma life support workflow deviations during trauma resuscitations without pre-arrival notification. *Journal of the American College of Surgeons*, Vol. 218 no. 3, p. 459-466.
- [78]. Kim, E., Kim, S., Song, M., Kim, S., Yoo, D., Hwang, H. & Yoo, S. (2013). Discovery of outpatient care process of a tertiary university hospital using process mining, *Healthcare Informatics Research*, Vol. 19 no. 1, p. 42–49.
- [79]. Kim, S. H., & Whitt, W. (2014). Are call center and hospital arrivals well modeled by nonhomogeneous Poisson processes? *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol. 16 no. 3, p. 464-480.
- [80]. Kirchner, K., Herzberg, N., Rogge-Solti, A. & M. Weske. (2012). Embedding conformance checking in a process intelligence system in hospital environments. *Process Support and Knowledge Representation in Health Care - BPM 2012 Joint Workshop, ProHealth 2012/KR4HC 2012*, Vol. 7738 of *Lecture Notes in Computer Science*, p. 126-139.
- [81]. Kotovsky, K., Hayes, J. R., & Simon, H. A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive psychology*, 17(2), 248-294.
- [82]. Kuperman, G. J., Gardner, R. M., & Pryor, T. A. (2013). *HELP: a dynamic hospital information system*. Springer Science & Business Media.
- [83]. Kumar. V., Park. H., Basole. R. C., Braunstein. M., Kahng. M., Chau. D. H., Tamersoy. A., Hirsh. D. A., Serban. N., Bos.t J., et al., (2014). Exploring clinical care processes using visual and data analytics: Challenges and opportunities, in: *Knowledge Discovery and Data Mining (KDD): Workshop on Data Science for Social Good*, p. 1–5.
- [84]. Kühne, T. (2006). Matters of (meta-) modeling. *Software & Systems Modeling*, Vol. 5 no. 4, p. 369-385.
- [85]. Laguna, M., & Marklund, J. (2013). *Business process modeling, simulation and design*. CRC Press.
- [86]. Lakshmanan, G. T., Rozsnyai, S. & Wang, F. (2013). Investigating clinical care pathways correlated with outcomes, in: *Business process management*, Springer, p. 323-338
- [87]. Lang, M., Burkle, T., Laumann, S. & H. Prokosch. (2008) Process mining for clinical workflows: Challenges and current limitations. *eHealth Beyond the Horizon - Get IT There*, Proceedings of MIE2008, The XXIst International

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Congress of the European Federation for Medical Informatics, Göteborg, Sweden Vol. 136 of Studies in Health Technology and Informatics, IOS Press, p. 229-234.
- [88]. La Rosa, M., van der Aalst, W. M., Dumas, M., & Milani, F. P. (2013). Business process variability modeling: A survey.
- [89]. Leemans, S. J., Fahland, D., & van der Aalst, W. M. (2013). Discovering block-structured process models from event logs containing infrequent behaviour. In Business Process Management Workshops, Springer International Publishing. p. 66-78.
- [90]. Leemans, S. J., Fahland, D., & van der Aalst, W. M. (2014). Process and Deviation Exploration with Inductive Visual Miner. In BPM (Demos), p. 46.
- [91]. Likert, R. (1932). A technique for the measurement of attitudes. Archives of psychology, p. 55.
- [92]. López, J. M. M., Pérez, L. M. L., Moralejo, B. B., León, M. P., Aguado, R. G., Izquierdo, F. J. E., & Señaris, J. A. A. (2015). Impacto de la adecuada codificación de la desnutrición y procesos asociados sobre el índice case-mix en patologías médicas y quirúrgicas. Nutrición hospitalaria.
- [93]. 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>.
- [94]. Machado, J. E., & Morales, C. D. (2014). Utilización de ergotamina. ¿Sabem los médicos en Colombia cómo prescribirla? Neurología, vol. 29 no. 5, p. 280-285.
- [95]. Mans, R. S., Schonenberg, H., Song, M., van der Aalst, W. M. P. & Bakker. P. J. M. (2008). Application of process mining in healthcare - A case study in a dutch hospital, in Biomedical Engineering Systems and Technologies, International Joint Conference, BIOSTEC 2008, Funchal, Madeira, Portugal, January 28-31, 2008, Revised Selected Papers, Vol. 25 of Communications in Computer and Information Science, Springer, pp. 425–438.
- [96]. Mans, R., Schonenberg, H., Leonardi, G., Panzarasa, S., Cavallini, A., Quaglini, S. & van der Aalst, W. M. P. (2008a). Process mining techniques: an application to stroke care. eHealth Beyond the Horizon - Get IT There, Proceedings of MIE2008, The XXIst International Congress of the European

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Federation for Medical Informatics, Vol. 136 of Studies in Health Technology and Informatics, IOS Press, p. 573–578.
- [97]. Mans, R. (2011). Workflow support for the healthcare domain, Ph.D. thesis, Technische Universiteit Eindhoven.
- [98]. Mans, R., Reijers, H. A., van Genuchten, M., Wismeijer, D. (2012) Mining processes in dentistry. ACM International Health Informatics Symposium, p. 379-388.
- [99]. 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. Springer Berlin Heidelberg, p. 140-153.
- [100]. Mans, R., van der Aalst, W. M.P. & Vanwersch, R. J. (2015). Process Mining in Healthcare: Evaluating and Exploiting Operational Healthcare Processes, Springer.
- [101]. Marinov, M., Mosa, A.S.M., Yoo, I. & Boren, S. A. (2011). Data-mining technologies for diabetes: a systematic review, Journal of Diabetes Science and Technology, Vol. 5, no. 6, p. 1549-1556.
- [102]. Marión, B. J., Peiro, S., Márquez, C. S., & Meneu, D. G. R. (1998). Variations in medical practice: importance, causes, and implications. Medicina clínica, Vol. 110, no.10, p. 382.
- [103]. Maroco, J., & Garcia-Marques, T. (2013). Qual a fiabilidade do alfa de Cronbach? Questões antigas e soluções modernas? Laboratório de Psicologia, Vol. 4, no. 1, p. 65-90.
- [104]. Martínez, M. (2014). Evaluación y mejora del proceso de alta hospitalaria.
- [105]. Mendling, J., Strembeck, M., & Recker, J. (2012). Factors of process model comprehension. Findings from a series of experiments. Decision Support Systems, Vol. 53 no. 1, p. 195–206.
- [106]. Meneu, T., Traver, V., Guillen, S., Valdivieso, B., Benedi, J. & Fernandez-Llatas, C. (2013). Heart cycle: Facilitating the deployment of advanced care processes, in: Proceeding of the 35th Annual International Conference of the IEEE, Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), p. 6996-6999.
- [107]. Micio, R., Fontanili, F., Marques, G., Bomert, P., Lauras, M. (2015). RtlS-based process mining: Towards an automatic process diagnosis in healthcare, in:

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Automation Science and Engineering (CASE), 2015 IEEE International Conference on, IEEE, pp. 1397–1402.
- [108]. Montani, S., Leonardi, G., Quaglini, S., Cavallini, A., Micieli, G. (2013). Mining and retrieving medical processes to assess the quality of care. *Case-Based Reasoning Research and Development*. Springer, p. 233-240.
- [109]. Montani, S., Leonardi, G., Quaglini, S., Cavallini, A., Micieli, G. (2014). Improving structural medical process comparison by exploiting domain knowledge and mined information, *Artificial Intelligence in Medicine*. Vol. 62 no. 1, p. 33-45.
- [110]. 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. Tesis Doctoral, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Carrera de Ingeniería Mecánica.
- [111]. Murga-Menoyo, M. Á. (2011). Infotecnología e innovación docente. Los editores de mapas conceptuales: posibilidades y límites. *Revista Española de Pedagogía*, p. 273-288.
- [112]. NC/ISO-9000. (2005). *Sistemas de Gestión de la Calidad-Fundamentos y Vocabularios*, NC ISO 9000: 2005.
- [113]. Nordsieck, F. (1962). *Die schaubildliche Erfassung und Untersuchung der Betriebsorganisation*. Poeschel.
- [114]. ONEI. (2015). *Anuario Estadístico de Cuba*. (O. N. Información, Editor) Retrieved Marzo 12, 2016, from <http://www.one.cu/aec2014/19%20Salud%20Publica.pdf>
- [115]. Oquendo, D. F., & Zambrano, M. P. (2013). Estudio de factibilidad y diseño preliminar de una planta móvil de tratamiento de residuos hospitalarios. Tesis Doctoral, QUITO/EPN/2013).
- [116]. Orellana, A., & Sánchez, Y. (2014). Minería de Procesos en salud. Caso de Estudio: modelado de los procesos del área de Emergencia. In Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014) " Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity.
- [117]. Orellana, A., Abreu M., Reyes, A.M., & Sarmiento E.E. (2015). Diseño de un componente para la detección de incongruencias en los procesos del Sistema

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- de Información Hospitalaria del CESIM personalizando la técnica minero heurística. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- [118]. Orellana, A., Larrea O. U., & Pérez-Alfonso, D. (2015). "Generador de Registros de Eventos para el análisis de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria xavia HIS." Convención Salud 2015.
- [119]. Orellana, A., Pérez-Alfonso, 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.
- [120]. Orellana, A., Pérez, Y.E. & Larrea, O.U., (2015). Process Mining in Healthcare: Analysis and Modeling of Processes in the Emergency Area. Latin America Transactions, IEEE, Vol. 13 no. 5, p.1612-1618.
- [121]. Orellana, A., Pérez, Y.E., & Larrea, O.U, (2015a). Diseño de un componente para la identificación de eventualidades aplicando la técnica minero inductivo a los del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- [122]. Orellana, A., Pereiras, K. & Sosa, A., (2015). Diseño de un componente para la detección de ruido en los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM personalizando la técnica minero difusa. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- [123]. Orellana A., Castañeda, L. & Valladares, A., (2015). Diseño de un componente desde la perspectiva temporal para el análisis de los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- [124]. Orellana, A., Larrea, O.U, Pérez, Y.E., and Pérez-Alfonso, D. (2016). Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital Information System. Latin America Transactions, IEEE, Vol. 14 no. 4, pp.1930-1936.
- [125]. Orellana, A., Sosa, A., Pereiras, K. & Pérez-Alfonso, D. (2016) Análisis de frecuencia de ejecución de procesos hospitalarios aplicando la técnica Fuzzy Miner de minería de procesos. In 14 LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2016) "Engineering Innovations for Global Sustainability"

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [126]. Partington, A., Wynn, M., Suriadi, S., Ouyang, C., Karnon, J. (2015). Process mining for clinical processes: A comparative analysis of four Australian hospitals, *ACM Transactions on Management Information Systems (TMIS)*, Vol. 5 no. 4, p. 1-19.
- [127]. Peiró, S. & Bernal, E. (2006). ¿A qué incentivos responde la utilización hospitalaria en el Sistema Nacional de Salud? *Gaceta Sanitaria.*; Vol. 20 (Supl. 1), p. 110-116.
- [128]. Perkins, G. D., & Cooke, M. W. (2012). Variability in cardiac arrest survival: the NHS Ambulance Service Quality Indicators. *Emergency medicine journal*, Vol. 29 no. 1, p. 3-5.
- [129]. Petersen, L. A., Simpson, K., SoRelle, R., Urech, T., & Chitwood, S. S. (2012). How variability in the institutional review board review process affects minimal-risk multisite health services research. *Annals of internal medicine*, Vol. 156 no. 10, p. 728-735.
- [130]. Pérez, D. (2014). Técnica para el diagnóstico de variantes de procesos de negocio. Tesis de Maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba.
- [131]. Pérez, D. (2015). Método para el diagnóstico de procesos de negocio a partir de registros de eventos con ruido y ausencia de información. Tesis Doctoral, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba.
- [132]. Process Mining Group (2009). fuzzy Miner-como usar el plugin en ProM. [en línea]. [Consulta: 24 febrero 2015]. Disponible en: <http://www.processmining.org/online/fuzzyminer>
- [133]. QPR Software Oyj. (2011). Automated Business Process Discovery Software QPR ProcessAnalyzer. [En línea] <http://www.qpr.com/products/qpr-processanalyzer.htm>
- [134]. Quaglini, S. (2008). Process mining in healthcare: A contribution to change the culture of blame. In: *Business Process Management Workshops, BPM 2008 International Workshops*, Vol. 17 of *Lecture Notes in Business Information Processing*, p. 308-311.
- [135]. Rattanavayakorn, P. & Premchaiswadi, W. (2015). Analysis of the social network miner (working together) of physicians, in: *ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering 2015)*, 2015 13th International Conference on, IEEE, p. 121–124.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [136]. Rebuge, Á. & Ferreira, D. R. (2012). Business process analysis in healthcare environments: A methodology based on process mining, *Information Systems*, Vol. 37 no. 2, p. 99-116.
- [137]. Rebuge, A. J. S. (2012). Business process analysis in healthcare environments (Doctoral dissertation, Master, dissertation, The Technical University of Lisboa).
- [138]. Rebuge, Á., Lapao, L. V., Freitas, A. & Cruz-Correia, R., (2013). A process mining analysis on a virtual electronic patient record system, in: *Proceedings of the 26th IEEE International Symposium on Computer- Based Medical Systems*, Porto, Portugal, June 20-22, 2013, IEEE Computer Society, p. 554-555.
- [139]. Recker, J., Rosemann, M., Indulska, M., & Green, P. (2006). Business process modeling: A maturing discipline. BPM Center Report BPM-06-20, BPMcenter.org.
- [140]. Recker, J., Reijers, H. A., & van de Wouw, S. G. (2014). Process model comprehension: the effects of cognitive abilities, learning style, and strategy. *Communications of the Association for Information Systems*, Vol. 34 no. 9, p. 199-222.
- [141]. Riaño, C. E., & Palomino, M. (2015). Diseño y elaboración de un cuestionario acorde con el método Delphi para seleccionar laboratorios virtuales (LV). *Sophia*, Vol. 11, no. 2, p. 129-141.
- [142]. Riemers, P. (2009). Process improvement in healthcare: a data-based method using a combination of process mining and visual analytics, Ph.D. thesis, Master's thesis. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- [143]. Ríos, N. E., Machado, A. C. M., & Fernández, A. T. (1998). Causas múltiples de muerte. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, Vol. 36, no. 2, p. 116.
- [144]. Ríos, N. E., Plasencia, A. E., Serna, L. A., & Páez, I. (2002). El archivo de historias clínicas: Cuestión de Espacio. *Revista Cubana de Salud Pública*, vol. 28, no. 1, p. 18-21.
- [145]. Ríos, N. E., Fernández, R. M., & Jorge, E. R. (2005). Los registros médicos en Cuba. *Revista Cubana de Salud Pública*, Vol. 31, no. 4, p. 0-0.
- [146]. Rodríguez, H. G. (2014). Mejoramiento de la atención interna del "Hospital Clínica Kennedy Alborada". Doctoral Dissertation, Universidad De Guayaquil, Ingeniería Industrial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [147]. Rojas, E., Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare: A literature review. *Journal of biomedical informatics*, 61, 224-236.
- [148]. 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*, Vol. 5 no. 7, p. 628-633.
- [149]. Rovani, M., F. Maggi, M., de Leoni, M. & van der Aalst, W. M.P. (2015). Declarative process mining in healthcare, *Expert Systems with Applications*, Vol. 42 no. 23, p. 9236–9251.
- [150]. Rozinat, A., Mans, R. S., Song, M., & van der Aalst, W.M.P. (2009). Discovering Simulation Models. *Information Systems*, Vol. 34 no. 3, p. 305-327.
- [151]. Sanjose, V., Torres, T., & Soto, C. (2013). Effects of Scientific Information Format on the Comprehension Self-Monitoring Processes: Question Generation. *Journal of Psychodidactics*, Vol. 18 no. 2.
- [152]. 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>
- [153]. Sharma, A. & Mansotra, V. (2014). Emerging applications of data mining for healthcare management-a critical review, in: *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, International Conference, p. 377-382.
- [154]. Shull, F., Singer, J. & Sjoberg, D.I.K. (2008). *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*. Edtion ed.: Springer-Verlag, p. 394, ISBN 978-1-84800-043-8.
- [155]. Silva, V. M. (2014). Aplicacion de gestion por procesos, como herramienta de apoyo al mejoramiento del Hospital Dr. Eduardo Pereira (Doctoral dissertation).
- [156]. 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*, Vol. 36 no. 1, p. 24-32.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [157]. Sirvent, M., Victoria Calvo, M., Sagalés, M., Rodríguez-Penin, I., Cervera, M., Piñeiro, G., & Gómez, M. E. (2013). Indicadores de monitorización del proceso de soporte nutricional especializado. *Farmacia Hospitalaria*, vol. 37 no. 1, p. 15-26.
- [158]. Soler, C., & Lombardo, A. (2012). En apoyo al método clínico. *Revista Cubana de Medicina*, vol. 51 no. 1, p. 99-104.
- [159]. Solé, M. and Carmona, J. (2010). Process Mining from a Basis of State Regions. In *Applications and Theory of Petri Nets*. In: *Lecture Notes in Computer Science*. Berlín: Springer-Verlag. p. 226–245.
- [160]. Sosa, A., & Orellana, A. 2015. Componente para el análisis de frecuencia en procesos hospitalarios aplicando la técnica Fuzzy Miner. *Serie Científica - Universidad de las Ciencias Informáticas*, Vol.8 no. 2.
- [161]. Staal, J., (2010). Using process and data improving techniques to define and improve standardization in a healthcare workflow environment, Ph.D. thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- [162]. Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modell theorie (General model Theory)*. Springer. ISBN ISBN 3-211-81106-0.
- [163]. Suriadi, S., Mans, R. S., Wynn, M. T., Partington, A., Karnon, J. (2014). Measuring patient flow variations: A cross-organisational process mining approach, in: *Asia Pacific Business Process Management*, p. 43–58.
- [164]. Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1987). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*.
- [165]. Taylor, S. J., & Bogdan, R. (2008). *La entrevista en profundidad. Métodos Cuantitativos Aplicados 2*, p. 194.
- [166]. Teichgräber, U. K., & de Bucourt, M. (2012). Applying value stream mapping techniques to eliminate non-value-added waste for the procurement of endovascular stents. *European journal of radiology*, Vol. 81 no. 1, p. 47-52.
- [167]. Tolga, M., Sezen, B., & Atwat, K. M. (2012). Application of Six Sigma methodology to a diagnostic imaging process. *International journal of health care quality assurance*, Vol. 25 no. 4, p. 274-290.
- [168]. Trischler, W. E. (1998). Mejora del valor añadido en los procesos: ahorrando tiempo y dinero eliminando despilfarro. *Gestión 2000*, No. 658.01/T83uE.
- [169]. Valverde, L. S. (2014). Variabilidad clínica en los protocolos del tratamiento quirúrgico del cáncer de próstata.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [170]. van der Aalst, W. M., Ter Hofstede, A. H., & Weske, M. (2003). Business process management: A survey. In Business process management (pp. 1-12). Springer Berlin Heidelberg.
- [171]. van der Aalst, W. M., Reijers, H. A., Weijters, A. J., van Dongen, B. F., De Medeiros, A. A., Song, M., & Verbeek, H. M. W. (2007). Business process mining: An industrial application. *Information Systems*, Vol. 32 no. 5, p. 713-732.
- [172]. 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.
- [173]. van der Aalst, W. M., van Dongen, B. F., Günther, C. W., Rozinat, A., Verbeek, E., & Weijters, T. (2009). ProM: The Process Mining Toolkit. *BPM (Demos)*, Vol. 489, p. 31.
- [174]. van der Aalst, W M. P. (2011). *Process mining: discovery, conformance and enhancement of business processes*, Springer Science & Business Media.
- [175]. 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.
- [176]. van der Aalst, W. M. P. (2012). *Process mining: overview and opportunities*. *ACM Transactions on Management Information Systems*, Vol. 3 no. 2, p. 7.
- [177]. van der Aalst, W. M., & Van Dongen, B. F. (2013). *Discovering Petri Nets from Event Logs*. *T. Petri Nets and Other Models of Concurrency*. Vol. 7, p. 372-422.
- [178]. 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.
- [179]. van der Aalst, W.M.P. (2013a). *Service mining: Using process mining to discover, check, and improve service behavior*. *Services Computing, IEEE Transactions on*, Vol. 6 no. 4, p. 525-535.
- [180]. van der Aalst, W. M. (2013b). *Business process management: a comprehensive survey*. *ISRN Software Engineering*, 2013.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [181]. van der Aalst, W.M. P. (2013c). A general divide and conquer approach for process mining. In Computer Science and Information Systems (FedCSIS), 2013 Federated Conference, p. 1-10.
- [182]. van der Aalst, W.M. P. (2013d). Challenges in service mining: record, check, discover. In Web Engineering, Springer Berlin Heidelberg, p. 1-4.
- [183]. van Eck, M. L. (2013). Alignment-based process model repair and its application to the Evolutionary Tree Miner (Doctoral dissertation, Master's thesis, Technische Universiteit Eindhoven).
- [184]. van der Heijden, T. H. C. (2012). Process mining project methodology: Developing a general approach to apply process mining in practice. Master of Science in Operations Management and Logistics. Netherlands: TUE. School of Industrial Engineering.
- [185]. van Dongen, B. F., & Shabani, S. (2015). Relational XES: Data Management for Process Mining. In CAiSE Forum 2015, p. 169-176.
- [186]. van Giessel, M. (2004). Process mining in SAP R/3. Tesis de Maestría, Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- [187]. Verbeek, H. E., & Bose, R. J. C. (2010). ProM 6 Tutorial. Technical report.
- [188]. Vossen, G. (2012). The Process Mining Manifesto-An interview with Will van der Aalst. Information Systems, Vol. 37 no. 3, p. 288-290.
- [189]. Weijters, A. J. M. M., van Der Aalst, W. M., & De Medeiros, A. A. (2006). Process mining with the heuristics miner-algorithm. Technische Universiteit Eindhoven, Tech. Rep. WP, Vol. 166, p. 1-34.
- [190]. Wennberg, J., & Gittelsohn, A. (1973). Small Area Variations in Health Care Delivery A population-based health information system can guide planning and regulatory decision-making. Science, Vol. 182 no. 4117, p. 1102-1108.
- [191]. Wennberg, J. E., Blowers, L., Parker, R., & Gittelsohn, A. M. (1977). Changes in tonsillectomy rates associated with feedback and review. Pediatrics, Vol. 59 no.6, p. 821-826.
- [192]. Wennberg, J.E. (1991). Unwanted variations in the rules of practice. JAMA. Vol. 265, no. 10, p.1306-1307.
- [193]. Wennberg, J.E., Fisher, E.S., Stukel, T.A., Skinner, J.S., Sharp, S.M. & Bronner KK. (2004). Use of hospitals, physicians visits, and hospice care during last six months of life among cohorts loyal to highly respect hospital in the United States. BMJ, Vol. 328, no. 7740, p. 607.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [194]. Wennberg, J.E. (2004) Practice variations and health care reform: connecting the dots. *Health Aff (Millwood)*, Suppl. P. var140.
- [195]. Weske, M. (2012). *Business process management: concepts, languages, architectures*. Springer Science & Business Media.
- [196]. Xie, X., Li, J., Swartz, C. H., Dong, Y., & DePriest, P. (2016). Modeling and analysis of ward patient rescue process on the hospital floor. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 13, no. 2, p. 514-528.
- [197]. Yzquierdo, R. (2013). Minería de proceso como herramienta para la auditoria. *Ciencias de la Computación*. Vol. 44, p. 25-32.
- [198]. Zhou, J. (2009). *Process mining: Acquiring objective process information for healthcare process management with the crispdm framework*, Ph.D. thesis, Master's thesis. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- [199]. Zhou, Z., Wang, Y. & Li, L. (2014) Process mining based modeling and analysis of workflows in clinical care-a case study in a Chicago outpatient clinic, in: *IEEE 11th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)*, 2014, IEEE, p. 590-595.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

Publicaciones en revistas

- ✓ **Orellana, A., Pérez, Y.E. & Larrea, O.U.**, 2015. Process Mining in Healthcare: Analysis and Modeling of Processes in the Emergency Area. Latin America Transactions, IEEE, Vol. 13 no. 5, p.1612-1618. Indexed in ISI-THOMSON REUTERS.
- ✓ **Orellana, A., Pérez, D. & Larrea, O.U.**, 2015, August. Analysis of Hospital Processes with Process Mining Techniques. U.S. National Library of Medicine. Indexed in WoS, PubMed/MEDLINE, MeSH, MedlinePlus, TOXNET, Digital Collections.
- ✓ **Orellana, A., Pérez, D. & Estrada, V.**, 2016. Revisión de los principales modelos para aplicar técnicas de Minería de Procesos. GECONTEC: Revista Internacional de Gestión del Conocimiento y la Tecnología, Vol. 4 no. 1, pp.12-25. Indexed in WoS, ISI-THOMSON REUTERS.
- ✓ **Orellana, A., Larrea, O.U, Pérez, Y.E., & Pérez, D.**, 2016. Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital Information System. Latin America Transactions, IEEE, Vol. 14 no. 4, pp.1930-1936. Indexed in ISI-THOMSON REUTERS.
- ✓ **Orellana, A.** 2015. Estado de la Minería de procesos aplicada al entorno hospitalario. Una revisión actual. Serie Científica, Vol.8 no. 2.
- ✓ **Sosa, A., & Orellana, A.** 2015. Componente para el análisis de frecuencia en procesos hospitalarios aplicando la técnica Fuzzy Miner. Serie Científica, Vol.8 no. 2.
- ✓ **Ramayo, L. J., Valdés, L., Orellana, A., & Ugarte, Y.** 2015. Componente para la extracción de registros de eventos en formato XES del Sistema SIGEC. Serie Científica, Vol.8 no. 2.
- ✓ **Castañeda, L., Valladares, A., & Orellana, A.** 2015. Componente para el análisis de procesos hospitalarios aplicando la perspectiva temporal de minería de procesos. Serie Científica, Vol.8 no. 2.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

- ✓ **Abreu, M., Reyes, A. M., Orellana, A., & Sarmiento, E. E.** 2015. Componente web para detectar incongruencias en procesos hospitalarios personalizando el plugin Heuristic Miner de ProM. Serie Científica, Vol.8 no. 2.
- ✓ **Larrea, O. U., Pérez, Y. E., Orellana, A., & Castro, Y. G.** 2015. Integración del plugin Inductive visual Miner de ProM al Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. Serie Científica, Vol.8 no. 2.

Publicaciones en memorias de eventos

- ✓ **Orellana, A. & Sánchez, Y.** 2014. Minería de Procesos en salud. Caso de Estudio: modelado de los procesos del área de Emergencia. In Twelfth LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2014). Excellence in Engineering To Enhance a Country's Productivity. Indexed in EBSCO.
- ✓ **Orellana, A., Pérez, D. & Larrea, O.U.,** 2015, August. Analysis of Hospital Processes with Process Mining Techniques. In MEDINFO 2015: EHealth-enabled Health: Proceedings of the 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics (Vol. 216, p. 310). IOS Press. Indexed in SCOPUS, ISI-THOMSON REUTERS.
- ✓ **Orellana, A., Estrada, V., Pérez D. & Arias A.C.,** 2016. A Model for the detection of variability in hospital processes using process mining. In Multi Conference on Computer Science and Information System MCCSIS 2016. 8th International Conference on e-Health. (Accepted). Indexed in EIT Inspec, ELSEVIER, SCOPUS, THOMSON REUTERS, EBSCO.
- ✓ **Orellana, A. & Ledesma Y.,** 2015. ¿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. Indexed in EBSCO
- ✓ **Orellana, A., Sánchez Y. & Cabrera, L.,** 2015. Aplicación del Modelo L* de minería de proceso al módulo Almacén del Sistema de Información Hospitalaria alas HIS. Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

Doing?: Proceedings of the 13th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Indexed in EBSCO

- ✓ **Orellana, A., Sosa, A., Pereiras, K. & Pérez-Alfonso, D.** 2016 Análisis de frecuencia de ejecución de procesos hospitalarios aplicando la técnica Fuzzy Miner de minería de procesos. In 14 LACCEI Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI'2016) "Engineering Innovations for Global Sustainability". Indexed in EBSCO.
- ✓ **Orellana, A., Pereiras, K. & Sosa, A.,** 2015. Utilidad de la Técnica Minería Difusa para modelar procesos en el entorno hospitalario. In Convención Internacional CubaSalud 2015.
- ✓ **Orellana, A., Reyes, A.M. & Abreu, M.** 2016. Análisis del comportamiento principal de procesos hospitalarios aplicando la técnica Heuristics Miner de minería de procesos. In III Congreso Multidisciplinario de Ciencias Aplicadas en Latinoamérica, La Habana, Cuba.
- ✓ **Orellana, A., Ramírez, D., Nodarse, A.** 2016. Componente para la predicción basada en tiempo de los procesos en ejecución del sistema XAVIA HIS. In III Congreso Multidisciplinario de Ciencias Aplicadas en Latinoamérica, La Habana, Cuba.
- ✓ **Orellana A., Alfonso, D. & Larrea, O.U.,** 2015. "Generador de Registros de Eventos para el análisis de procesos en el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS." In Convención Internacional CubaSalud 2015.
- ✓ **Orellana A.** 2016. Minería de procesos en Salud: Reseña y actualidad. XVI Convención y Feria Internacional Informática 2016. XI Congreso Internacional de Informática en Salud.
- ✓ **Orellana, A., Pérez, D., Lorenzo-Luaces, P & Álvarez, M.** 2016. Análisis del proceso Realizar estudio del sistema de ensayos clínicos: Clínicas, aplicando minería de procesos. In VI Taller Internacional de Ensayos Clínicos, La Habana, Cuba. (Accepted).
- ✓ **Sosa A., Pereiras, K. & Orellana A.,** 2015. Diseño y Procedimiento para personalizar el plugin Fuzzy Miner de ProM que detecte el ruido en los procesos

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. XII Taller Nacional de Actualización e Intercambio de Experiencias en Ciencias, Tecnologías, Gestión de Información y Gestión del Conocimiento de los Polos.

- ✓ **Orellana A., Castañeda, L. & Valladares, A.,** 2015. Diseño de un componente desde la perspectiva temporal para el análisis de los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. XII Taller Nacional de Actualización e Intercambio de Experiencias en Ciencias, Tecnologías, Gestión de Información y Gestión del Conocimiento de los Polos.
- ✓ **Orellana, A., Pereiras, K. & Sosa, A.,** 2015, Diseño de un componente para la detección de ruido en los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM personalizando la técnica minero difusa. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- ✓ **Orellana A., Castañeda, L. & Valladares, A.,** 2015. Diseño de un componente desde la perspectiva temporal para el análisis de los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- ✓ **Orellana, A., Abreu M., Reyes, A.M., & Sarmiento E.E.** 2015. Diseño de un componente para la detección de incongruencias en los procesos del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM personalizando la técnica minero heurística. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- ✓ **Orellana, A., Pérez, Y.E., & Larrea, O.U,** 2015. Diseño de un componente para la identificación de eventualidades aplicando la técnica minero inductivo a los del Sistema de Información Hospitalaria del CESIM. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- ✓ **Valdés, L., Ramayo, L.J., Orellana, A., & Ugarte, Y.,** 2015. Diseño de un componente para la extracción de registros de eventos en formato XES del sistema alas Clínicas. 10ma Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

- ✓ **Pérez, D., Febles J.P. & Orellana A. 2015.** Aplicación de minería de procesos para el diagnóstico de procesos en Cuba. XIV Encuentro Nacional de Gestión del Conocimiento y Empresas de Alto Desempeño, TECNOGEST 2015.
- ✓ **Orellana A., Ramírez, J.F., & Ledesma, Y. 2015** Herramienta para la detección de variabilidad de procesos hospitalarios en sistemas automatizados. Fórum de Ciencia y Técnica de Base Facultad 2. Universidad de las Ciencias Informáticas.
- ✓ **León, I., Dávila, C., & Orellana A. 2016.** Selección de una técnica de minería de procesos para identificar cuellos de botella en procesos hospitalarios. 11na Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- ✓ **Nodarse, A., Ramírez, D., & Orellana, A. 2016.** Herramienta para realizar análisis de predicción basada en tiempo en los procesos del sistema de información hospitalaria del CESIM. 11na Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.
- ✓ **Castañeda, L., Valladares, A., & Orellana, A. 2016.** Desarrollo de un componente para el análisis de procesos aplicando la perspectiva temporal de minería de procesos. 11na Peña Tecnológica Nacional. ISBN: 978-959-286-030-8.

Otras:

- ✓ **Orellana A. 2015.** Herramienta para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando minería de procesos. Tesis de Maestría. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.

Premios obtenidos:

- ✓ **Premio a la Tecnología de Mayor Impacto** en la X Feria de tecnologías en el marco de la 10^{ma} Peña Tecnológica Nacional del MININT.
- ✓ **Mención Especial** en el XII Taller Nacional de Intercambios de experiencias sobre Inteligencia Empresarial, Vigilancia tecnológica y Gestión de la información, el conocimiento y la innovación InfoPolos 2015.
- ✓ **Premio del Rector 2015** al colectivo investigativo más destacado en el trabajo de ciencia, tecnología e innovación.
- ✓ **Propuesta a Premio Innovación tecnológica CITMA 2016.** MDV: modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

- ✓ **Propuesta a Premio Academia de Ciencias de Cuba ACC 2016.** MDV: modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Modelo de Rozinat.

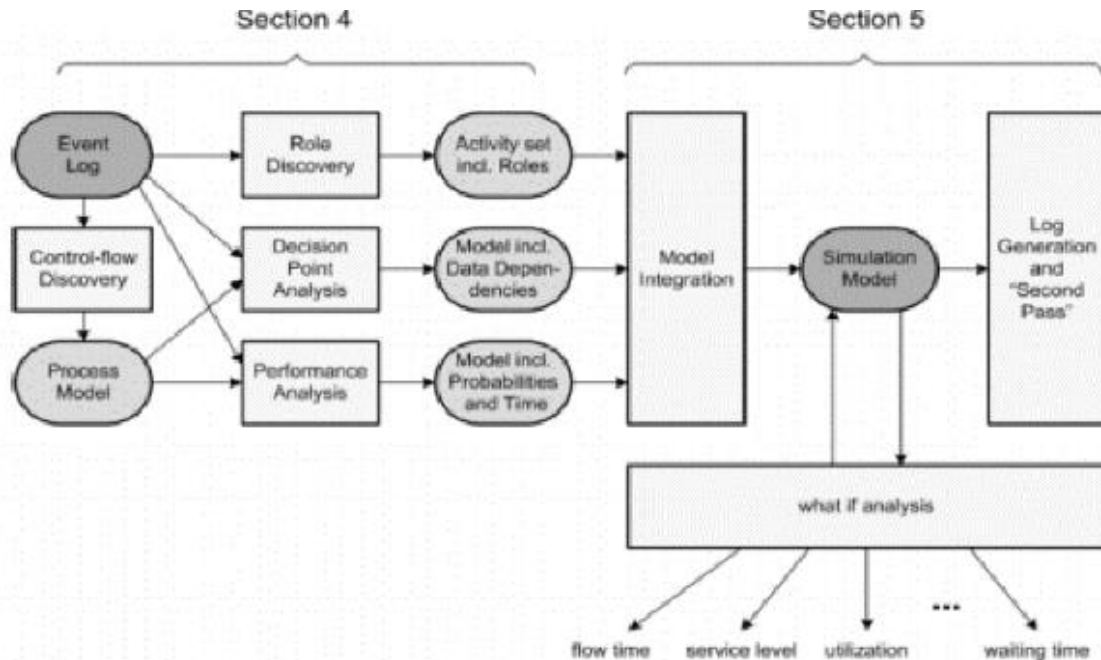


FIGURA 4.1. MODELO CONCEPTUAL DE ROZINAT.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO:

Fase 1. Creación del registro de eventos: La mayoría de los sistemas de información poseen algún tipo de registro de eventos, que contiene el flujo de actividades ejecutadas durante el proceso de negocio. Cada evento se refiere a una instancia de proceso y a una actividad, esta última se encuentra determinada por propiedades. El registro de eventos es transformado al formato MXML.

Fase 2. Descubrimiento del flujo de actividades: A partir de la información recopilada del registro de eventos, es empleado un algoritmo de descubrimiento que refleje las relaciones entre las actividades, por ejemplo el algoritmo *alpha* (α) que automáticamente construye el modelo en una red de Petri.

Fase 3. Análisis de puntos de decisión: Después del descubrimiento se pretende profundizar en la perspectiva de los datos del proceso para descubrir dependencias de datos que influyen en la ruta de un caso. Para analizar las opciones en un proceso, primero se debe identificar las partes del modelo en las que el proceso se divide en varias ramas alternativas, también llamadas puntos de decisión. Luego, se desea encontrar las

reglas para el seguimiento de una ruta o la otra, sobre la base de los atributos asociados a los eventos en el registro.

Fase 4. Análisis de rendimiento: Se realiza con el objetivo de profundizar en la perspectiva del rendimiento del proceso, para mejorar el modelo del proceso con información sobre los tiempos de ejecución y tiempos de espera para las actividades. También se desea mejorar el modelo del proceso con las probabilidades para tomar caminos alternativos, y con información sobre el esquema de generación de caso.

Fase 5. Descubrimiento de roles: La minería organizacional pretende descubrir el modelo de la organización (las relaciones entre los recursos y sus roles o unidades funcionales) y las reglas de asignación (las relaciones entre los roles o unidades funcionales y actividades). Con sólo utilizar un registro de eventos, es difícil descubrir las diferencias entre estos conceptos. Por lo tanto, es necesario formar grupos de recursos en los que las personas realicen actividades similares, por ejemplo a partir del perfil.

Fase 6. Modelo integrado: En los pasos anteriores se evidencia cómo pueden ser extraídas de un registro de eventos diferentes características de un proceso. Estas pueden utilizarse para construir un modelo de simulación. Para obtener una mejor visión sobre el proceso en su conjunto, es útil integrar las perspectivas descubiertas en un modelo holístico. Esto es bastante fácil, siempre y cuando las características del proceso descubiertas sean ortogonales entre sí (es decir, no hay información contradictoria). Si hay características conflictivas, entonces esto se convierte principalmente en un reto técnico.

Anexo 2. Modelo de Bozkaya.

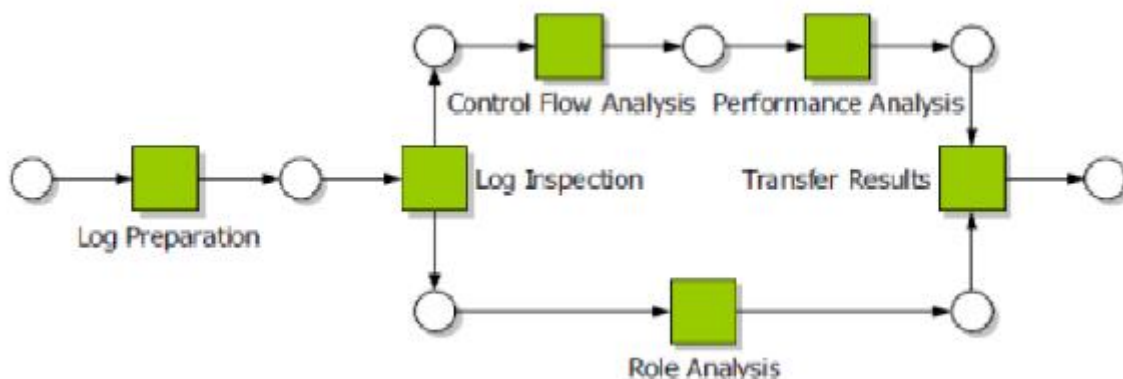


FIGURA 4.2. MODELO CONCEPTUAL DE BOZKAYA.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO:

Fase 1. Preparación del registro de eventos: La mayoría de los sistemas de información poseen un formato personal de registro, el cual es necesario extraer y transformar. Primeramente se selecciona la mejor idea de un caso, luego se identifican las actividades y sus eventos, todo esto con el fin de obtener un registro de eventos adecuado para proceder a la siguiente fase.

Fase 2. Inspección del registro de eventos: El objetivo fundamental es entender con mayor claridad el registro de eventos y obtener una primera vista del proceso. Primeramente se hace un resumen estadístico del registro que da una idea de la cantidad de eventos almacenados y de los posibles algoritmos de minería a utilizar para obtener buenos resultados en las fases siguientes. Teniendo en cuenta las estadísticas, se filtra el registro de eventos con el objetivo de eliminar los casos incompletos; constituyendo este registro de eventos filtrado la entrada para las siguientes fases. Para obtener una primera vista, se usa la técnica Fuzzy Miner, con un evento de inicio y fin artificial, agregado a cada caso en el registro.

Fase 3. Análisis del flujo de actividades: Esta fase tiene como objetivo dar respuesta a la pregunta: "¿Cómo se ve el proceso actual?". Si se tiene una descripción del proceso, se ejecuta una verificación de conformidad para comprobar si el proceso se ajusta a la especificación, o sea, que cada caso en el registro de eventos puede ser reproducido en el proceso definido. Si no existe una descripción del proceso, el flujo de actividades necesita ser descubierto. Actualmente hay disponibles numerosos algoritmos para descubrir los procesos que derivan en modelos. Una buena comprobación para el modelo del proceso consiste en ejecutar una verificación de la conformidad sobre el mismo.

Fase 4. Análisis de rendimiento: A partir del descubrimiento del flujo de actividades del proceso, se pueden utilizar los modelos para analizar el rendimiento del proceso. Una de las preguntas que da respuesta a esta fase es: "¿Hay cuellos de botella en el proceso?".

Fase 5. Análisis de los roles: En caso de que el registro de eventos contenga información sobre quién ejecutó determinado evento, los roles en dicho proceso se pueden analizar. Durante el desarrollo de esta fase se responden preguntas como: "¿Quién ejecuta qué actividades?" y "¿Quiénes están trabajando juntos?".

Fase 6. Mostrar los resultados al cliente: Como resultado de las fases anteriores se obtiene el comportamiento real del sistema, que generalmente se desvía del proceso diseñado, puede ser tanto por conductas inadecuadas como por aportes al flujo de actividades para facilitar el trabajo. Este resultado debe ser tratado directamente con el

jefe de la organización, quien determina cuáles fueron los comportamientos deseados y no deseados en el sistema. Luego utiliza todo este conocimiento para rediseñar su sistema de información para hacerlo más eficiente y competitivo.

Anexo 3. Modelo de Van Giessel

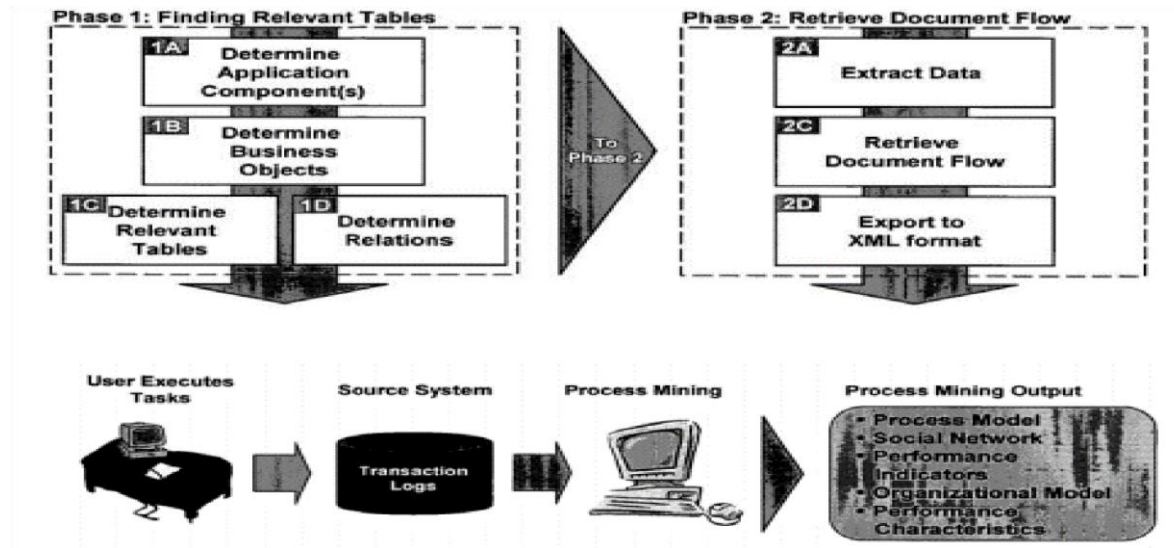


Figura 4.3. Modelo conceptual de van Giessel.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO:

Fase 1: Se determina cuáles tablas son relevantes a través de los objetos de negocio. Se establece un enlace entre los objetos de negocio y el proceso de negocio, mediante componentes de la aplicación. Esta fase está parcialmente automatizada por la herramienta *Table Finder*.

Fase 2: Se recupera el flujo del documento. Primeramente se localizan los datos de las tablas y se extraen. La recuperación se realiza mediante la agrupación de todos los datos que tienen el mismo número de documento o que están relacionadas unas con otras. Cuando todos los datos relacionados se agrupan, se recupera el flujo de documentos que al final se exporta en un archivo XML.

Una vez terminadas estas dos fases se procede a aplicar técnicas de minería a través de los siguientes pasos:

Paso 1. Determinar el modelo del proceso: Se descubre el modelo del proceso que representa las actividades ejecutadas por los usuarios. Este modelo del proceso puede ser comparado con el proceso de negocios definido, utilizando el análisis-delta. Todas las actividades ejecutadas se monitorean y la información se utiliza para determinar el modelo

del proceso. Existen herramientas como EMiT y Little Thumb para generar estos modelos, la primera centrada en el tiempo y la segunda en el ruido.

Paso 2. Análisis de la red social: Se centra en las relaciones entre los individuos o grupos de personas; mediante la herramienta MISON se puede descubrir las relaciones y realizar el análisis. Las relaciones se construyen por métricas predefinidas y los resultados se pueden mostrar en la representación de una matriz o en un gráfico.

Paso 3. Determinar los parámetros básicos de rendimiento: La herramienta *ARIS Process Performance Manager*, calcula los indicadores pre-definidos de rendimiento de procesos, pero también se pueden establecer indicadores de rendimiento de procesos a sí mismo. La minería de proceso calcula los indicadores básicos de rendimiento del proceso a partir del registro de eventos.

Paso 4. Determinar el modelo de la organización: Las empresas están organizadas de diversas formas tanto funcional, lineal como multi-funcional, donde cada integrante es responsable de actividades específicas. Si se desea obtener el modelo de organización sin previo conocimiento acerca de la estructura real, se puede utilizar minería de proceso, ya que en el registro de eventos se guarda el originador de cada instancia de un proceso, a través del cual se puede determinar qué actividades son ejecutadas por quiénes y por tanto, obtener el modelo de la organización.

Paso 5. Análisis de las características de rendimiento: Este paso se basa en el "si-entonces", ya que cada instancia de proceso tiene características específicas y a través de las técnicas de minería se pueden encontrar relaciones significativas entre diferentes características de rendimiento.

Anexo 4. Modelo del ciclo de vida L*

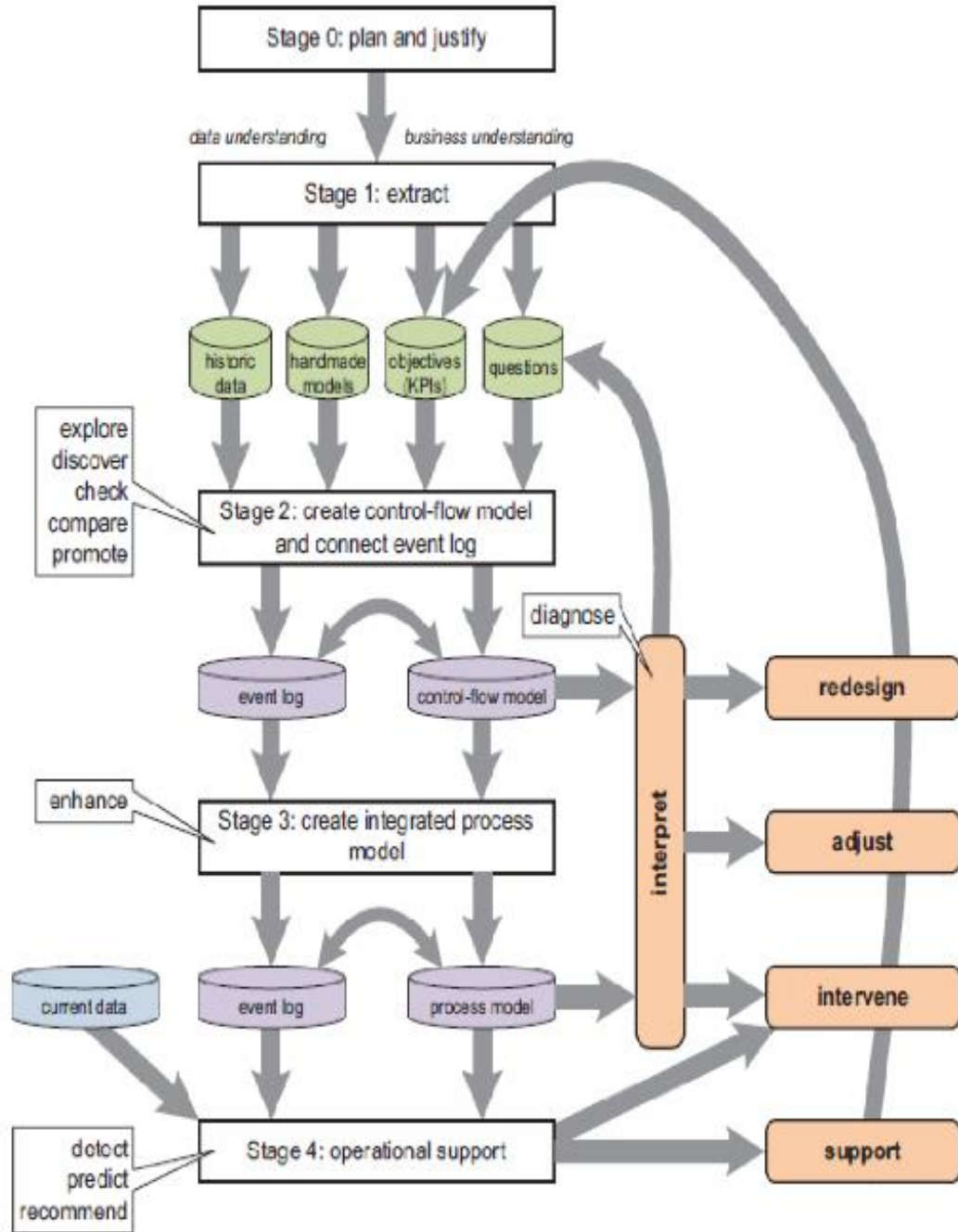


Figura 4.4. Modelo conceptual del ciclo de vida L*.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO:

Etapas 0 - Planificar y justificar: Los proyectos de minería de procesos comienzan por planificar y justificar las actividades a desarrollar. Para obtener adecuados resultados es necesario valorar los beneficios, antes de gastar esfuerzos en las actividades de minería. Existen tres tipos básicos de proyectos de minería de procesos:

- ✓ Basado en datos: impulsado por la disponibilidad de los datos de un evento; no posee preguntas concretas u objetivas, sino que espera surjan ideas valiosas al analizar los datos de eventos.
- ✓ Impulsado por preguntas: con el objetivo de responder a preguntas específicas, por ejemplo: ¿Por qué los casos atendidos por el equipo determinado tardan más que los casos atendidos por otro equipo?
- ✓ Impulsado por objetivos: con el objetivo de mejorar los procesos en relación a los indicadores claves de rendimiento (reducción de costos o tiempos de respuesta).

Etapas 1. Extracción: Luego de iniciar el proceso del proyecto se deben extraer del sistema los datos de eventos, modelos, objetivos y las preguntas. Para ello, es necesario entender los datos almacenados para analizar cuáles pueden ser utilizados en el análisis y qué preguntas son de mayor importancia.

Etapas 2. Crear el modelo de flujo de actividades y conectar con el registro de eventos: Tiene como objetivo fundamental obtener el modelo de flujo de actividades del proceso que se analiza. Dicho modelo puede ser descubierto usando las técnicas de descubrimiento de procesos; sin embargo, si es un buen modelo, se puede verificar a través del análisis de conformidad, comparar los modelos o combinar el modelo hecho a mano y el modelo descubierto.

Etapas 3. Crear un modelo de proceso integrado: La relación entre el registro de eventos y el modelo resultante de la Etapa 2 es utilizada para extender el modelo en esta etapa, el cual ha sufrido cambios factibles a través de la incorporación de nuevas perspectivas. A continuación se describen algunos pasos en el proceso de integración de las diferentes perspectivas:

- ✓ **Paso 3a. agregar la perspectiva organizacional:** Es posible analizar la red social y posteriormente identificar las entidades organizativas que conectan las actividades de los grupos de recursos.
- ✓ **Paso 3b. agregar la perspectiva del tiempo:** Las marcas de tiempo y las frecuencias se pueden utilizar para conocer las distribuciones de probabilidad que

describen adecuadamente los tiempos de espera y servicio y las probabilidades de enrutamiento.

- ✓ **Paso 3c. agregar la perspectiva del caso:** Los atributos incorporados en el registro son utilizados para la minería de decisión. Esto demuestra que los datos son relevantes y deben ser incluidos en el modelo.
- ✓ **Paso 3d. agregar otras perspectivas:** Dependiendo de la información en el registro se pueden añadir otras perspectivas en el modelo como por ejemplo, la información sobre los riesgos y los costos.

Etapa 4. Apoyo a las operaciones: Esta etapa cumple con los objetivos de la minería de procesos, que son las actividades de apoyo operativo: detectar, predecir y recomendar. Se debe tener en cuenta que el apoyo operativo es la forma más ambiciosa de la minería de procesos. Esto sólo es posible para los procesos Lasaña. Por otra parte, es necesario que haya una infraestructura avanzada de las TIC que proporcione una alta calidad de los registros de eventos y permita la incorporación de un sistema de soporte operativo. Para poder alcanzar las Etapas 3 y 4 es necesario tener un proceso suficientemente estable y estructurado.

Anexo 5. Caso de estudio de Jans

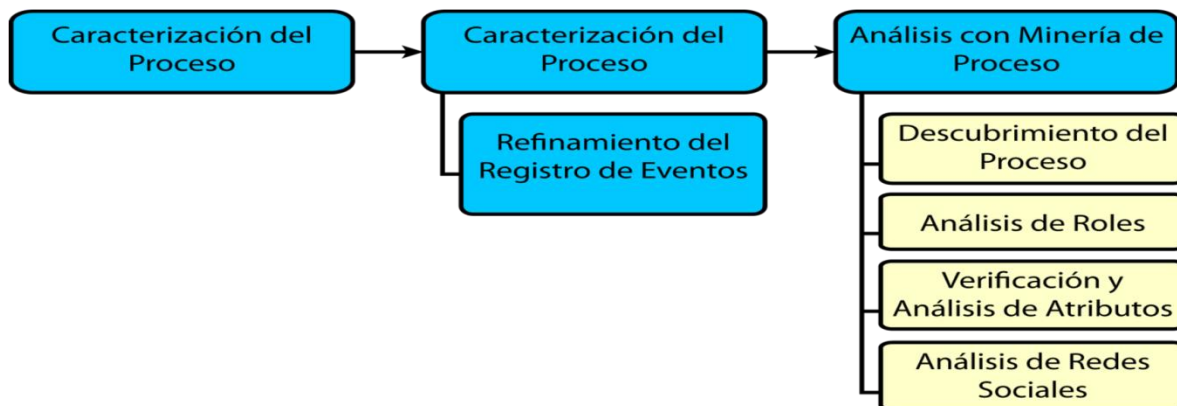


Figura 4.5. Modelo conceptual del caso de estudio de Jans.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO:

Paso 1. Caracterización del proceso: Para poder obtener buenos resultados en el proceso de minería es necesario realizar un exhaustivo análisis del proceso, en el que se recogen todos los datos relevantes y se crea un mapa de dicho proceso. Este mapa consta de cuatro componentes: objetivos del proceso, actividades, flujos de información y contabilidad del impacto, siendo el segundo componente el más importante por constituir la entrada principal al Paso 2, o sea, la creación del registro de eventos.

Además se realizan consultas a los ejecutivos de negocios y especialistas del sistema de información, entrevistas y observaciones a los empleados de distintos departamentos durante horario laboral; así como la revisión de los manuales de usuarios internos del sistema.

Paso 2. Creación del registro de eventos: Luego de realizar toda la caracterización del proceso se procede a construir el registro de eventos adecuado, a partir de los datos capturados por el sistema de información y almacenados en el registro. Estos datos se encuentran en grandes cantidades y dispersos por numerosas tablas del sistema, las cuales son específicas para cada sistema y cada proceso de negocio. Para minar los datos es necesario configurarlos dentro del registro de eventos con unos requisitos de formato que facilite la minería de proceso.

Este formato constituye la estructura de los datos relevantes alrededor de las actividades que conforman el proceso. Para crear el registro de eventos es necesario conocer cuáles son las actividades que constituyen el proceso y cuál es el caso o instancia de proceso que es el foco de estas actividades, a través de lo que se define el contenido y la estructura de este. Luego es necesario convertir el registro de eventos en el formato MXML.

- ✓ **Paso 2.1. Refinamiento del registro de eventos:** Una actividad, un caso, un usuario y el tiempo son las características para minar un proceso. El momento en que las actividades y el originador son ejecutados, son creadas meta data por el sistema de información y no se basan en información de entrada creada por el usuario. Esta información de entrada que se contrapone a la meta data es llamada atributos.

Paso 3. Análisis con minería de proceso: Después de crear el registro de eventos, se analiza el proceso a través de las siguientes tareas:

- ✓ **Tarea 1. Descubrimiento de proceso:** se analiza el orden de las actividades para descubrir cómo se efectúa el proceso en la vida real.
- ✓ **Tarea 2. Análisis de roles:** se analiza la asociación de las actividades con las personas a través de la prueba de controles de segregación de tareas.
- ✓ **Tarea 3. Verificación por análisis de atributos:** se analiza además la salida de los pasos previos. Se utilizan los atributos de los casos con el fin de verificar la eficacia de los controles internos de la empresa a lo largo del proceso en análisis.
- ✓ **Tarea 4. Análisis de redes sociales:** se realiza una búsqueda de las redes sociales entre los empleados que participan en el proceso, con el objetivo de

comprender mejor la interacción entre las funciones y actividades para las transacciones anómalas.

En resumen, se puede determinar el grado de concordancia entre lo detectado por los auditores internos en su análisis estándar y la información descubierta al aplicar el proceso de minado.

Anexo 6. Resultados de la encuesta sobre la minería de procesos (técnicas más utilizadas)

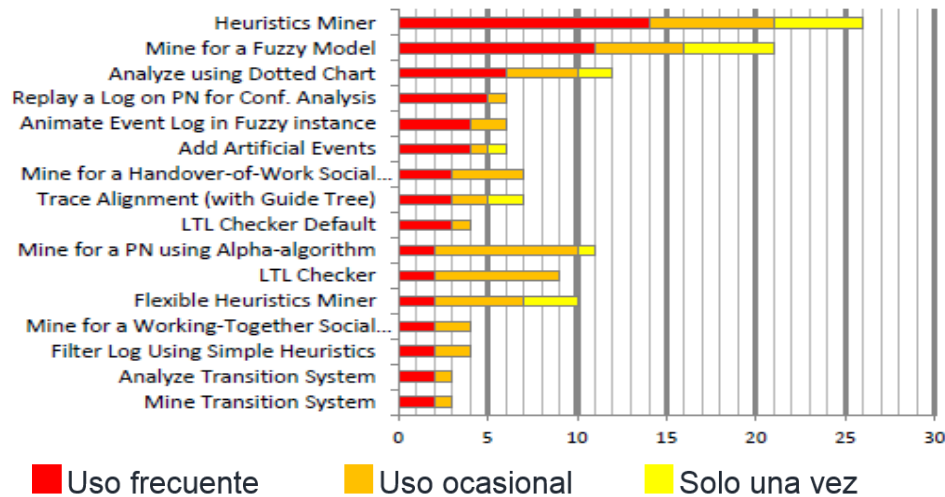


FIGURA 4.6. TÉCNICAS DE MINERÍA DE PROCESOS MÁS UTILIZADAS SEGÚN USUARIOS Y EXPERTOS. Fuente: (Claes & Poels, 2013).

Anexo 7. Resultados de la encuesta sobre la minería de procesos (usabilidad de las técnicas)

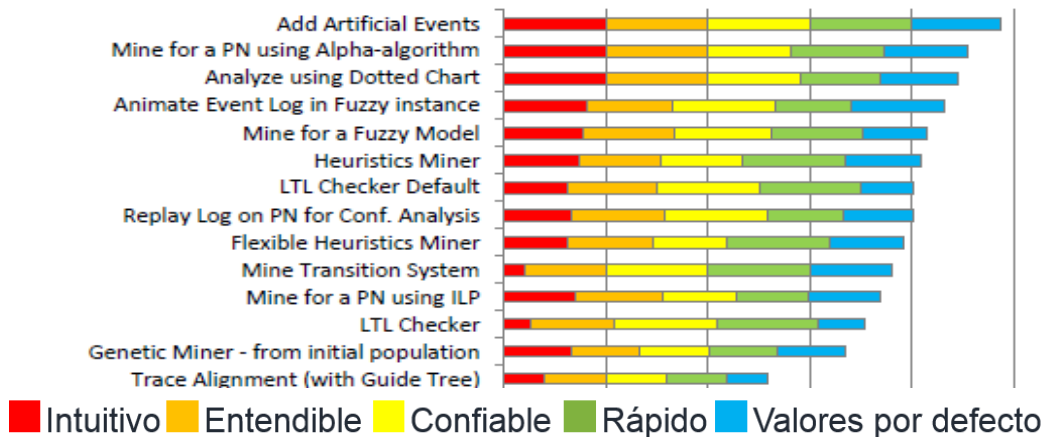


FIGURA 4.7. TÉCNICAS DE MINERÍA DE PROCESOS MÁS COMPENSIBLES SEGÚN USUARIOS Y EXPERTOS. Fuente: (Claes & Poels, 2013).

Anexo 8. Encuesta aplicada a especialistas de la gestión hospitalaria.

CONSIDERACIONES GENERALES DE LA VARIABILIDAD EN LA EJECUCIÓN DE PROCESOS HOSPITALARIOS EN CUBA		
Entidad:		
Provincia:		
Cargo:		
Años de experiencia:		
No	Preguntas	Respuestas
1	¿Ha realizado análisis de procesos hospitalarios en algún momento?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
2	¿Considera usted que en los procesos hospitalarios existen factores que pueden afectar el resultado de la ejecución de los mismos?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
3	¿Obviaría usted la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
4	¿Ha analizado la existencia de variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
a) En caso de ser positiva la respuesta de la pregunta cuatro (4) marque con una (X) cuáles de los siguientes elementos de variabilidad ha analizado: ___ Frecuencia de ejecución ___ Cuellos de botella ___ Trayectorias clínicas ___ Tiempos de ejecución ___ Desviaciones en el flujo de proceso ___ Anomalías o Eventualidades ___ Actividades más ejecutadas ___ Detección de fraudes ___ Variantes del proceso ___ Otros		
b) En caso de ser positiva la respuesta de la pregunta cuatro (4) marque con una (X) qué objetivos persigue cumplir con el análisis: ___ Diseñar acciones de mejora ___ Estandarizar la forma de trabajar ___ Eliminar o minimizar actividades de bajo o nulo aporte ___ Analizar los pasos del proceso para reducir el ciclo de tiempo ___ Disminuir la complejidad del proceso ___ Detectar las excepciones en el proceso ___ Comprobar el cumplimiento de las pautas y procedimientos médicos ___ Analizar con qué frecuencia se ejecutan ciertas actividades ___ Velar por la calidad del proceso y el control de su ejecución ___ Otros		
5	¿Considera usted que sin detectar y analizar la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios, se pueda aportar efectivamente a la planificación, control y gestión de los recursos?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
6	¿Considera usted que las técnicas tradicionales para analizar procesos (reuniones, entrevistas, estudio de casos) son realmente efectivas para detectar variabilidad?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
7	¿Considera usted que las técnicas para modelar procesos, utilizadas en el entorno hospitalario (Diagramas As-Is, Diagramas OTIDA, Diagramas de Recorrido y los Diagramas de Hilo) obtienen resultados certeros y efectivos?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
8	¿Considera usted que las técnicas para representar procesos, utilizadas en el entorno hospitalario (Diagramas As-Is, Diagramas OTIDA, Diagramas de Recorrido y los Diagramas de Hilo) aportan efectivamente al cumplimiento de los objetivos para mejorar la calidad de los procesos asistenciales?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
9	¿Considera usted que las técnicas para representar procesos, utilizadas en el entorno hospitalario, son complejas para su aplicación por profesionales de la salud?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
10	¿Considera usted que la información almacenada en los sistemas de información de salud en instituciones sanitarias, puede ser útil para detectar variabilidad en sus procesos?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
11	¿Considera pertinente utilizar las Tecnologías de la Información, para analizar los procesos hospitalarios y generar conocimientos sobre su ejecución?	Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>

Anexo 9. Encuesta aplicada a analistas de procesos de negocio.

CONSIDERACIONES DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD EN LA EJECUCIÓN DE PROCESOS HOSPITALARIOS EN CUBA						
Entidad:						
País:						
Datos del Encuestado						
Cargo o Rol:						
Nivel Escolar:	Técnico Medio	<input type="checkbox"/>	Universitario	<input type="checkbox"/>		
Categoría Docente:	Instructor	<input type="checkbox"/>	Asistente	<input type="checkbox"/>	Auxiliar	<input type="checkbox"/> Titular <input type="checkbox"/>
Categoría Científica:	Especialista	<input type="checkbox"/>	Máster	<input type="checkbox"/>	Doctor	<input type="checkbox"/>
Años de experiencia:						
No	Preguntas					Respuestas
1	¿Ha realizado análisis de procesos de negocio en algún momento?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
2	¿Considera usted que en los procesos de negocio existen factores que pueden afectar el resultado de la ejecución de los mismos?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
3	¿Ha analizado la existencia de variabilidad en la ejecución de procesos?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
4	La variabilidad en los procesos de salud propicia la ocurrencia de errores médicos en el diagnóstico y tratamiento de pacientes, insuficiencias en la calidad de los servicios, malas prácticas clínicas y la aparición de eventualidades o anomalías en el proceso de atención. ¿Obviaría usted la variabilidad en los procesos hospitalarios?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
5	En el año 2014 se realizaron 82 587 000 consultas en Cuba, donde elementos de variabilidad como los cuellos de botella por las esperas prolongadas o la ausencia de insumos afectaron el proceso de atención. ¿Considera usted que la gestión por procesos de negocio reduce la variabilidad y por tanto mejora la ejecución de los procesos hospitalarios y facilita los análisis al respecto?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
6	¿Considera usted que sin detectar y analizar la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios, se pueda aportar efectivamente a la planificación, control y gestión de los recursos?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
7	¿Considera usted que la información almacenada en los sistemas de información de salud en instituciones sanitarias, puede ser útil para los análisis de sus procesos de negocio?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
8	¿Considera pertinente utilizar técnicas de Inteligencia de Negocios (<i>Business Intelligence</i>) para analizar los procesos hospitalarios y generar conocimientos sobre su ejecución?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
9	La minería de procesos es una tecnología emergente, utilizada para el análisis de procesos de negocio (identifica cuellos de botella, desviaciones, violaciones de políticas, etc.). En los últimos años ha ganado popularidad en el mundo industrial y empresarial ¿Considera relevante su aplicación en el entorno hospitalario?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
10	El gasto de salud en Cuba, en 2014 ascendió a 9 350 millones de pesos, 26 % superior al año precedente ¿Considera usted que si se elabora y aplica un modelo para detectar y analizar variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios, utilizando técnicas de minería de procesos, el gasto en el sector disminuya?					Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> No sé <input type="checkbox"/>
11	¿Qué relevancia le concede usted a la vinculación del análisis de procesos hospitalarios con la minería de procesos?					Entre 0 y 10 <input type="text"/>

Anexo 10. Determinación de la confiabilidad de los datos obtenidos en las encuestas del diagnóstico.

Aplicación de las pruebas:

- Coeficiente Alpha de Cronbach
- Procedimiento de dos mitades con: la Correlación de Pearson y la Corrección de Spearman-Brown.

Alpha de Cronbach

La fórmula (4.1) del Coeficiente Alpha de Cronbach requiere de una sola aplicación del instrumento y se basa en la medición de la respuesta del sujeto con respecto a los elementos del instrumento.

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right] \quad (4.1)$$

K: El número de ítems.

$\sum S_i^2$: Sumatoria de Varianzas de los elementos (ítems).

S_T^2 : Varianza de la suma de los elementos (ítems).

α : Coeficiente Alpha de Cronbach.

La población de los especialistas hospitalarios fue constituida por 49 encuestados. Las respuestas fueron codificadas a los valores 1, 2, 3 respectivamente.

Se procedió a calcular la varianza de la población, para ello se utilizó Microsoft Excel, los valores obtenidos para cada ítem fueron: ítem 1= 0,13, ítem 2= 0,24 e ítem 3= 0,24. La sumatoria de varianzas de los ítems ($\sum S_i^2$) dio como resultado 0,60 y la varianza de la suma de los ítems (S_T^2) resultó 1,25. Al aplicar la fórmula anterior y conociendo que el valor del número de ítems (K) es 3, el coeficiente Alpha de Cronbach resultó 0,78, como se muestra a continuación.

$$\alpha = \frac{3}{3-1} \left[1 - \frac{0,60}{1,25} \right]$$

$$\alpha = 0,78$$

En el caso de los analistas de procesos encuestados la población fue constituida por 29 encuestados. Las respuestas fueron codificadas a los valores 1, 2, 3 respectivamente.

Los valores obtenidos para la varianza de la población fueron: ítem 1= 0,28, ítem 2= 0,24 e ítem 3= 0,25. La sumatoria de varianzas de los ítems ($\sum S_i^2$) dio como resultado 0,77 y la varianza de la suma de los ítems (S_T^2) resultó 1,43. Al aplicar la fórmula

anterior y conociendo que el valor del número de ítems (K) es 3, el coeficiente Alpha de Cronbach resultó 0,70, como se muestra a continuación.

Entre más cerca de 1 está α , más alto es el grado de confiabilidad (se puede definir como la estabilidad o consistencia de los resultados obtenidos).

Procedimiento de dos mitades con: la Correlación de Pearson y la Corrección de Spearman-Brown.

Para la prueba fueron seleccionadas las preguntas cerradas 6, 7 y 8 en la encuesta dirigida a los especialistas hospitalarios, donde las respuestas fueron: “sí”, “no”, “no sé”. Las respuestas fueron codificadas a los valores 1, 2, 3 respectivamente. La pregunta 6 se codificó como I, la pregunta 7 como II y la pregunta 8 como III.

Primero se calcula el Índice de Correlación (Pearson) a partir de la fórmula 4.2:

$$r = \frac{n(\sum AB) - (\sum A)(\sum B)}{\sqrt{[n(\sum A^2) - (\sum A)^2][n(\sum B^2) - (\sum B)^2]}} \quad (4.2)$$

n = número de elementos (preguntas).

A = la suma de los elementos de I y III.

B = los elementos de II.

AB = el producto de A por B.

A² = el cuadrado de los elementos de A.

B² = el cuadrado de los elementos de B.

Sustituyendo y calculando:

$$n = 49.$$

$$n(\sum AB) = 24353.$$

$$(\sum A)(\sum B) = 23754.$$

Numerador = 599.

$$n(\sum A^2) = 47040.$$

$$(\sum A)^2 = 45796.$$

$$n(\sum A^2) - (\sum A)^2 = 1244.$$

$$n(\sum B^2) = 12887.$$

$$(\sum B)^2 = 12321.$$

$$n(\sum B^2) - (\sum B)^2 = 566.$$

$$\text{Producto} = 704104.$$

Raíz Cuadrada = 839,11.

Dividiendo 599/839,11 resulta el Índice de correlación de Pearson (r): **0,71**.

Luego se aplica la fórmula de corrección de Spearman-Brown:

$$R = \frac{2r}{1+r}$$

Donde R resulta: **0,83**. Entre más cerca de 1 está R, más alto es el grado de confiabilidad

En la encuesta dirigida a los analistas de procesos fueron seleccionadas las preguntas cerradas 5, 9 y 10, donde las respuestas fueron: “sí”, “no”, “no sé”. Las respuestas fueron codificadas a los valores 1, 2, 3 respectivamente. La pregunta 5 se codificó como I, la pregunta 9 como II y la pregunta 10 como III.

Primero se calcula el Índice de Correlación (Pearson) a partir de la fórmula:

$$r = \frac{n(\sum AB) - (\sum A)(\sum B)}{\sqrt{[n(\sum A^2) - (\sum A)^2][n(\sum B^2) - (\sum B)^2]}}$$

n = número de elementos (preguntas).

A = la suma de los elementos de I y III.

B = los elementos de II.

AB = el producto de A por B.

A² = el cuadrado de los elementos de A.

B² = el cuadrado de los elementos de B.

Sustituyendo y calculando:

$$n = 29.$$

$$n(\sum AB) = 9715.$$

$$(\sum A)(\sum B) = 9522.$$

Numerador = 193.

$$n(\sum A^2) = 19662.$$

$$(\sum A)^2 = 19044.$$

$$n(\sum A^2) - (\sum A)^2 = 618.$$

$$n(\sum B^2) = 4959.$$

$$(\sum B)^2 = 4761.$$

$$n(\sum B^2) - (\sum B)^2 = 198.$$

Producto = 122364.

Raíz Cuadrada = 349,81.

Dividiendo 193/349,81 resulta el Índice de correlación de Pearson (r): **0,55.**

Luego se aplica la fórmula de corrección de Spearman-Brown:

$$R = \frac{2r}{1+r}$$

Donde R resulta: **0,71.** Entre más cerca de 1 está R, más alto es el grado de confiabilidad.

Anexo 11. Composición de expertos involucrados en la determinación de las fuerzas impulsoras y restrictivas.

Tabla 8. Composición de expertos involucrados en la determinación de las fuerzas impulsoras y restrictivas. Fuente: elaboración propia.

No.	Perfil de los expertos	Cantidad
1	Perfil de trabajo	
	Administrativos	4
	Funcionarios	2
	Asesores de registros médicos	2
	Estadísticos	4
	Total	12
2	Años de experiencia en su responsabilidad	
	Menos de 5 años	1
	Entre 5 y 10 años	6
	Más de 10 años	5
	Total	12
3	Entidad en la que laboran	
	Centro de Soluciones de Informática Médica de la UCI	2
	Dirección Municipal Salud Pública Sancti Spíritus	2
	Dirección Provincial Salud Pública Sancti Spíritus	4
	Hospital Hermanos Ameijeiras	3
	Clínica Central Cira García	1
	Total	12

Anexo 12. Determinación de las fuerzas impulsoras y restrictoras que inciden en la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.

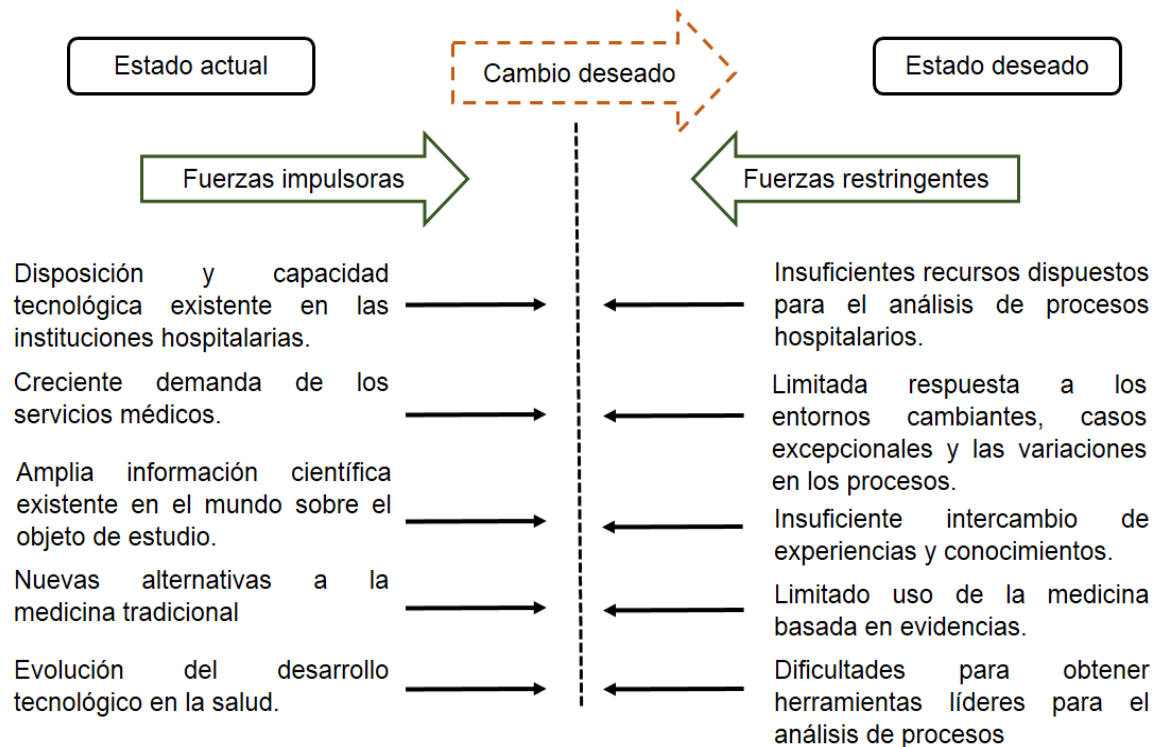


Figura 4.8. Fuerzas restrictoras e impulsoras para el análisis de procesos y detección de variabilidad en el entorno de la salud. Fuente: elaboración propia.

Anexo 13. Diagrama Causa y Efecto de la variable Detección de variabilidad.

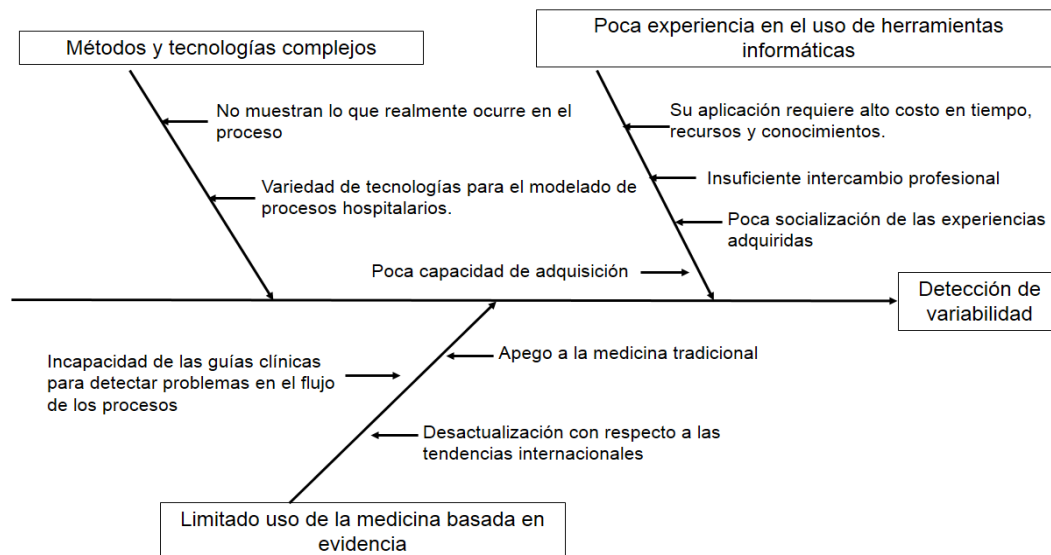


Figura 4.9. Diagrama Causa-Efecto. Fuente: elaboración propia.

Anexo 14. Parámetros de configuración de la técnica Heuristics Miner.

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

- *Relative-to best*: Umbral⁴ 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.
- *Ignore loop dependency thresholds*: Heurística que decide si ignorar o no los umbrales *Lenght-one loop* y *Lenght-two loop*.

⁴ Umbral: es la entrada, el principio, el comienzo o el primer paso de cualquier cosa o proceso.

Anexo 15. Parámetros de configuración de la técnica Fuzzy Miner.

El complemento Fuzzy Miner de ProM cuenta con una serie de métricas configurables derivadas de las mediciones del mismo para generar los modelos.

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 llevó a cabo la sub-secuencia de dos eventos. Mientras mayor similitud tenga 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.

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 $N^{\text{th}} \text{ root with radical}$ (raíz N -ésima con radicales) permite la atenuación negativa exponencial para configurar la función $N^{\text{th}} \text{ root}$. 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.

Anexo 16. Obtención de la Petri Net para la técnica Replay P/C.

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

Alpha Algorithm (α)

Es un algoritmo utilizado por la técnica Mine for a Petri Net using Alpha-algorithm de minería de procesos, destinado a la reconstrucción de la causalidad en un conjunto de secuencias de evento (van der Aalst et al., 2003). Puede extraer automáticamente una Petri Net que modela de forma concisa el comportamiento reflejado en el registro de eventos.

ILP Algorithm

Integer Linear Programming es un algoritmo usado por la técnica Mine for a Petri Net using ILP en el marco de trabajo ProM, capaz de reproducir un registro de eventos mediante la construcción de una Petri Net. Los estados son generados en un orden que asegura que los más expresivos sean encontrados primero, solo son añadidos los que poseen menor cantidad de tokens, menos arcos salientes o más arcos entrantes. Además, cada solución mejorada de una ILP es también una solución de la ILP original, debido a que la nueva solución satisface todas las limitaciones de la formulación inicial ILP, y algunas restricciones adicionales. Desafortunadamente, todos los enfoques del algoritmo ILP son computacionalmente complejos, con un tiempo exponencial de ejecución (Leemans et al., 2013), pero que garantizan una alta completitud en la red descubierta. Sin embargo no posee la capacidad de robustez ante el ruido (van der Aalst et al., 2013).

Inductive Miner Algorithm

Inductive Miner (IM) es un algoritmo de descubrimiento de minería de procesos, el cual trabaja recursivamente y se basa en la técnica divide y vencerás (Leemans et al., 2013). Su funcionamiento comienza en seleccionar el operador raíz que mejor se adapte a un registro de eventos L, luego divide las actividades de L en conjuntos disjuntos formando nuevos registros y continua dividiendo hasta que cada registro contiene una sola actividad.

Las frecuencias de cada una de las trazas y los eventos son ignorados por IM. Inductive Miner–infrequent (IMi) es una extensión de este algoritmo, la cual se

complementa con la adición de filtros de comportamientos poco frecuentes a todos los pasos de IM. En cada uno de los pasos operativos de IM se describe cómo el comportamiento poco frecuente afecta cada paso y como de forma distintiva el comportamiento frecuente y poco frecuente puede ser utilizado para mejorar el descubrimiento del modelo en un ochenta por ciento.

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

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

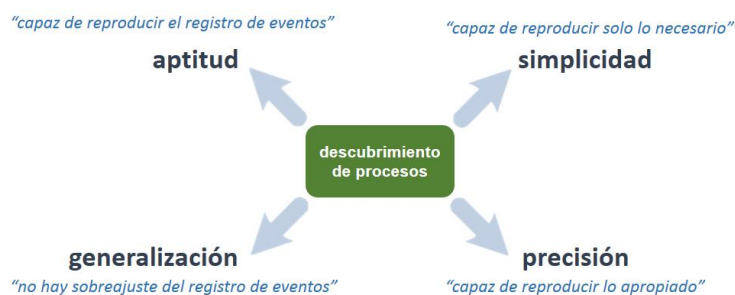


Figura 4.10. Equilibrio de las cuatro dimensiones de la calidad. Fuente: (van der Aalst & van Dongen, 2013).

Un modelo que tiene una buena aptitud es capaz de reproducir la mayoría de los rastros en el registro de eventos. La precisión se refiere a la noción de *underfitting* presentado en el contexto de la minería de datos. Un modelo con una mala precisión es *underfitting*, es decir, permite un comportamiento que es muy diferente de lo que se muestra en el registro de eventos. La generalización se relaciona con la noción de sobreajuste. Un modelo de *overfitting* no generaliza suficiente, por lo que se considera demasiado específico e impulsado por ejemplos en el registro de eventos. El criterio de calidad referente a la sencillez establece que "no se debe aumentar, más allá de lo necesario, el número de entidades requeridas para explicar algo".

Siguiendo esta idea es recomendable encontrar el "modelo de proceso más simple" que pueda explicar lo que se observa en el registro de eventos, pero resulta ser un

reto equilibrar los cuatro criterios de calidad. Por ejemplo, un modelo simplista es probable que tenga una aptitud baja o falta de precisión. Por otra parte, existe una disyuntiva obvia entre *underfitting* y *overfitting*. (van der Aalst, 2011)

Se realiza una comparación basada en las características de los algoritmos Alpha, ILP, e Inductive. Para ello, el análisis se sustenta en la relación de las técnicas con los 4 aspectos de calidad, representados en el esquema de la Figura 4.15, apoyado en datos de la ejecución de los algoritmos calculados mediante fórmulas matemáticas, a partir de registros de eventos reales en (Buijs et al., 2012; Leemans et al., 2013) y representados en el gráfico de barras de la Figura 4.16.

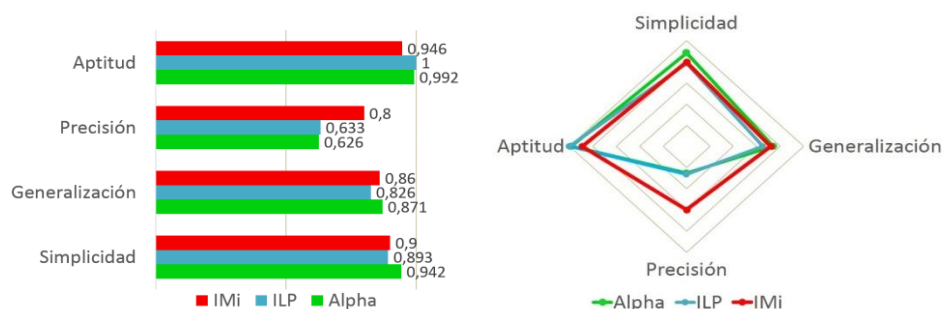


Figura 4.11. Comparación del equilibrio de las técnicas seleccionadas sobre las dimensiones de calidad.
Fuente: elaboración propia.

Algoritmos de descubrimiento como α , e ILP pueden producir modelos indeseables debido a la dificultad que tienen para detectar comportamientos poco frecuentes, e incluso cuando el comportamiento frecuente se separa por filtración (Leemans et al., 2013). Se selecciona el algoritmo Inductive Miner-infrequent por obtener un mayor equilibrio en los aspectos definidos. Un conjunto de investigadores liderados por van der Aalst, realizaron pruebas donde los algoritmos descritos previamente fueron aplicados a registros de eventos sintéticos que se generan de procesos reales (van der Aalst et al., 2007; Alves de Medeiros et al., 2007; Solé et al., 2010; van der Aalst, 2011).

Anexo 17. Librerías necesarias para ejecutar la técnica replay P/C.

Librerías incluidas en el paquete PNetReplayer que deben estar incluidas en el servidor de aplicaciones.

- axis.jar
- bsh-2.0b4.jar
- collections-generic-4.01.jar
- colt.jar
- commons-compress-1.0.jar
- Spex.jar
- TableLayout-20050920.jar
- weka.jar
- xpp3-1.1.4c.jar
- xstream-1.3.1.jar
- trove-3.0.3.jar
- ProM-Contexts.jar
- ProM-Framework.jar
- ProM-Models.jar
- ProM-Plugins.jar

- | | | |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • FilterableSortableTablePanel.jar • flanagan.jar • jargs.jar • jcommon-1.0.16.jar • jlfgr-1_0.jar • jung-algorithms-2.0.jar • jung-api-2.0.jarjung-graph-impl-2.0.jar • jung-io-2.0.jar • jung-visualization-2.0.jar • slickerbox1.0rc1.jar | <ul style="list-style-type: none"> • Log.jar • LogDialog.jar • Widgets.jar • guava-16.0.1.jar • jas-plotter-2.2.jar • junit-4.8.1.jar • openide-lookup-1.9-patched-1.0.jar • jgraph.jar • simmetrics.jar | <ul style="list-style-type: none"> • Uitopia.jar • UITopiaResources.jar • javailp-1.2a.jar • lpsolve55j.jar • BasicUtils.jar • PetriNets.jar • EfficientStorage.jar • jbppt-0.2.429.jar • OpenXES-XStream.jar • OpenXES.jar |
|---|---|---|

Librerías necesarias de añadir al servidor para ejecutar la técnica desde la herramienta.

- freehep-graphics2d-2.1.1.jar
- freehep-graphicsio-2.1.1.jar
- freehep-graphicsio-svg-2.1.1.jar
- freehep-io-2.0.2.jar
- freehep-util-2.0.2.jar
- freehep-xml-2.1.1.jar
- InductiveMiner.jar: En esta librería se encuentra el algoritmo Inductive Miner Infrequent, necesario para construir la *Petri Net*.
- ProcessTree.jar: Esta librería es necesaria pues el algoritmo Inductive Miner Infrequent mina el registro de eventos y genera un Process Tree, el cual es convertido a una *Petri Net* posteriormente.
- PNetAlignmentAnalysis.jar: Este paquete contiene todas las clases necesarias para dar colores a la *Petri Net* y añadirle la información de los tiempos asociados a las actividades representadas.
- Replayer.jar: Es una adaptación del paquete de clases PNetReplayer.jar de la técnica "Replay P/C" debido a que este presenta un conjunto de clases, métodos e interfaces de usuario que no son necesarios para realizar la identificación de cuellos de botella desde la herramienta de detección de variabilidad.
- Properties.jar: Esta librería es necesaria para establecer las propiedades de la imagen con formato SVG que se genera.

- jgrapht-jdk1.6.jar: Esta librería es necesaria para generar el grafo que se construye a partir de la red Petri para después exportarlo en formato SVG.

Anexo 18. Materialización del modelo MDV en el sistema XAVIA HIS.

La Figura 4.12 muestra el módulo para generar registros de eventos del sistema XAVIA HIS.

Figura 4.12. Interfaz del módulo para generar registros de eventos desde el sistema XAVIA HIS.

La Figura 4.13 muestra la personalización de la técnica Heuristics Miner desde el sistema XAVIA HIS.

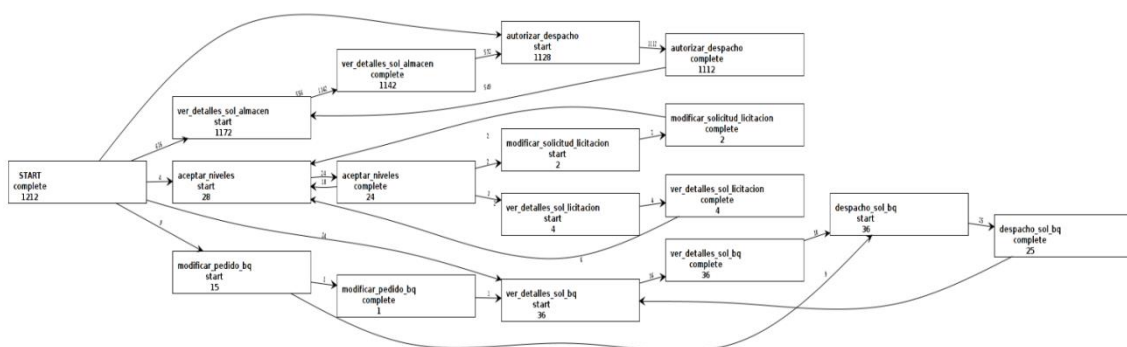


Figura. 4.13. Técnica Heuristics Miner instanciada en el sistema XAVIA HIS.

Las configuraciones visuales permiten obtener modelos según el tipo de análisis que se realice. Es posible obtener resultados a partir de la frecuencia de ejecución y la dependencia, así como de la semántica y el flujo principal de actividades.

La Figura 4.14 muestra la personalización de la técnica Fuzzy Miner personalizada en el sistema XAVIA HIS.

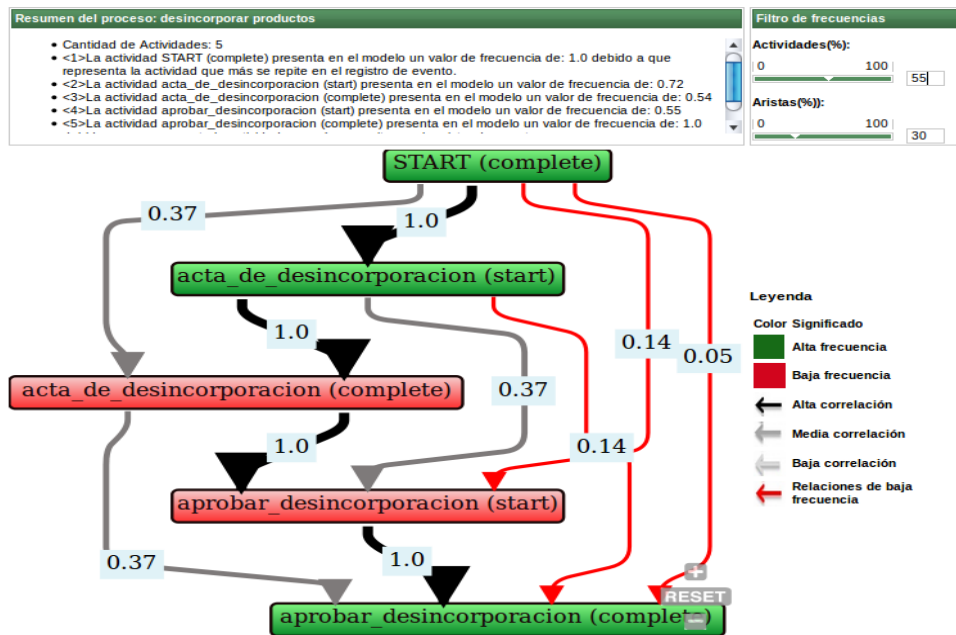


Figura 4.14. Técnica Fuzzy Miner instanciada en el sistema XAVIA HIS.

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.

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.

La Figura 4.15 muestra la personalización de la técnica lvm en el sistema XAVIA HIS.

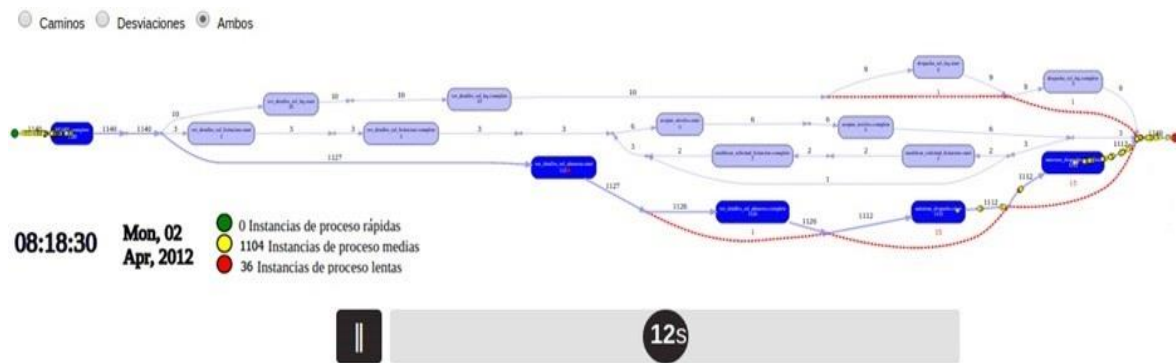


Figura 4.15. Técnica IvM instanciada en el sistema XAVIA HIS.

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.

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.

La Figura 4.16 representa la personalización de la técnica Variants Miner en el sistema XAVIA HIS.

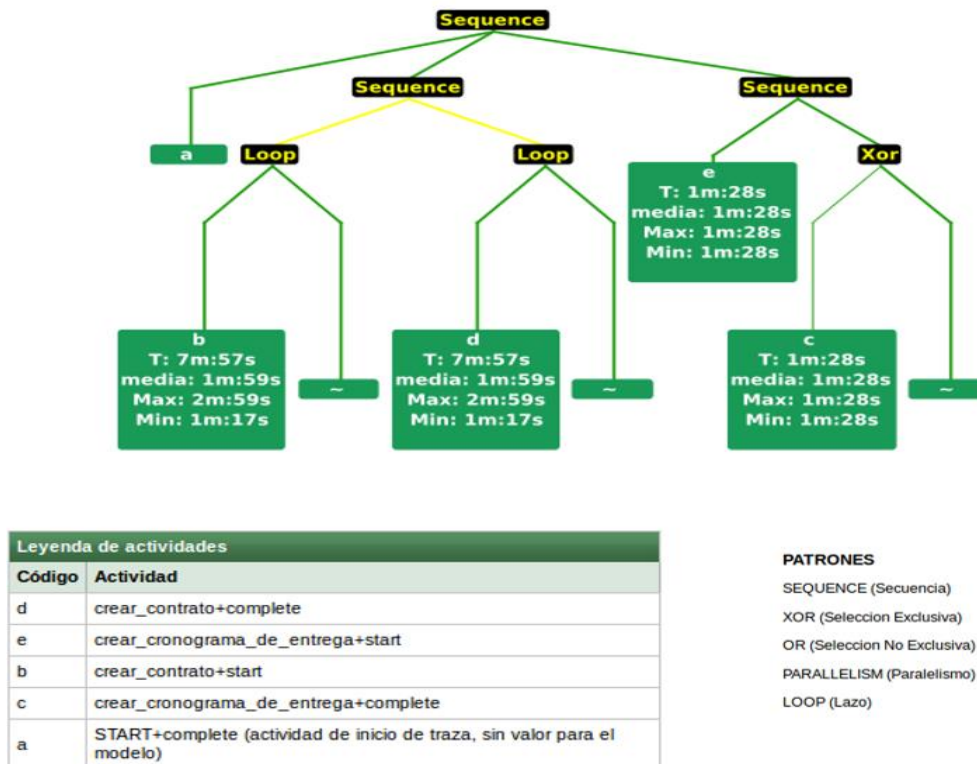


Figura 4.16. Técnica Variants Miner instanciada en el sistema XAVIA HIS.

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 subproceso 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 desviaciones, es decir mientras más finas sean las aristas, mayor existencia de desviaciones.

En la vista también se muestra una leyenda, especificando cada actividad del proceso, pues estas aparecen codificadas en el modelo, además en dicha leyenda se muestra la frecuencia de cada una de las actividades. La vista muestra los patrones de control de flujo utilizados para la descomposición en subprocesos y si se selecciona uno de dichos patrones, se muestra una descripción de su significado. Además, es posible expandir, contraer y arrastrar el modelo.

La Figura 4.17 representa la personalización de la técnica Replay P/C en el sistema XAVIA HIS.

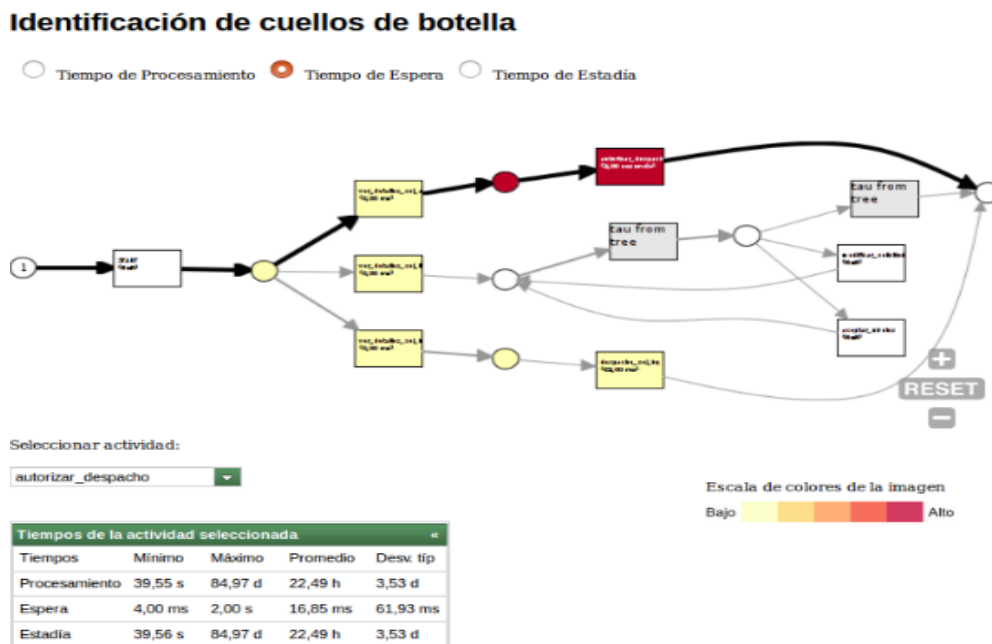


Figura 4.17. Interfaz de la técnica Replay P/C en el sistema XAVIA HIS.

En la visualización de los resultados se muestra una *Petri Net* y una tabla con los tiempos asociados a cada actividad de proceso. La *Petri Net* descubierta puede ser obtenida en tres perspectivas diferentes: tiempo de estadía, tiempo de espera y tiempo de procesamiento. Para identificar los posibles cuellos de botella, al igual que la técnica de ProM, este componente utiliza la escala de colores definida en la leyenda mostrada y el grosor de los conectores para describir la frecuencia de trazas. A cada actividad de proceso le corresponde una transición (rectángulo) y dentro de cada transición se puede observar el tiempo correspondiente a la perspectiva seleccionada. El sistema permite expandir, contraer y arrastrar el modelo. Por su parte, la tabla que se visualiza en el componente es la equivalente a la tabla que se muestra en el panel Inspector de ProM, obtenido por la técnica “*Replay P/C*”. Esta tabla está estructurada de la forma que cada actividad es representada en una fila, y por cada columna se le asocia los tiempos correspondientes a la estadía, espera y procesamiento con sus valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar.

La Figura 4.18 representa una vista de análisis de predicción basada en tiempo de las actividades de proceso.

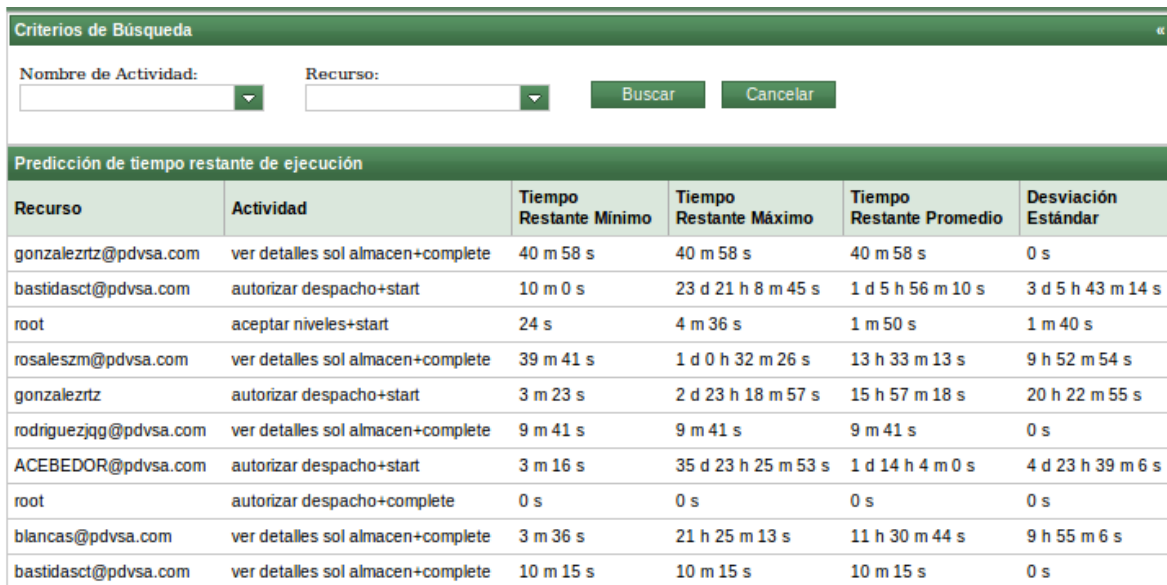


Figura 4.18. Vista de análisis para la predicción basada en tiempo.

La Figura 4.19 representa una vista de análisis que contiene información de apoyo basada en tiempos de ejecución de las actividades de proceso.

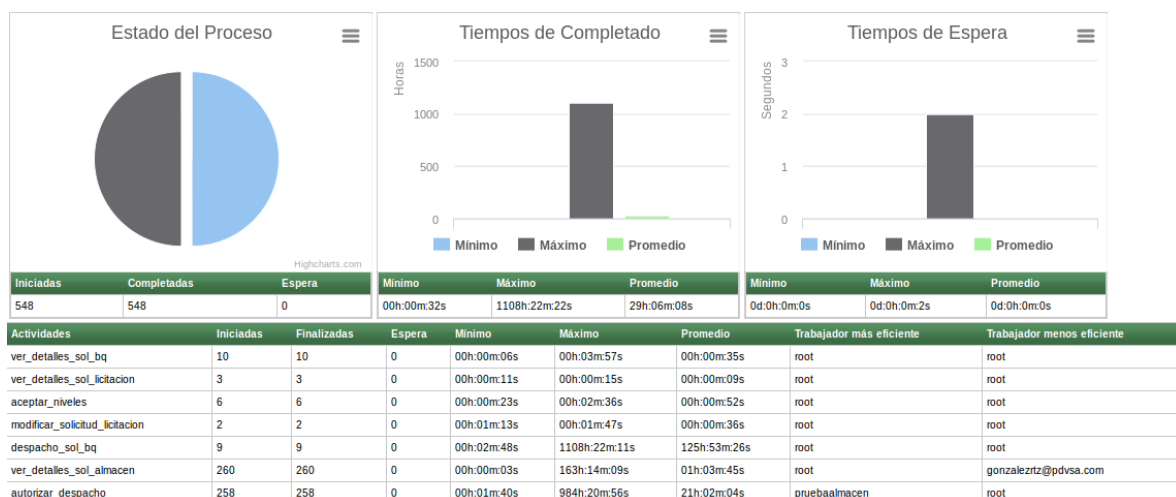


Figura 4.19. Tiempos de ejecución de los procesos del sistema XAVIA HIS.

Anexo 19. Procedimiento empleado para determinar el coeficiente de competencia de los candidatos a expertos y resultados obtenidos.

Encuesta para determinar el coeficiente de competencias de los expertos

Compañero (a): _____

Usted ha sido seleccionado como posible experto para ser consultado respecto a temas relacionados a la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios, con vista a la investigación que se está llevando a cabo. Agradecemos sinceramente su valiosa cooperación.

Gracias.

1. Marque con una cruz (X) en la tabla siguiente el valor que se corresponde con el grado de conocimiento que usted posee sobre “análisis de procesos hospitalarios”. (Escala ascendente).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2. Realice una autoevaluación del grado de influencia que cada una de las fuentes que le presentamos a continuación ha tenido en su conocimiento y criterio sobre “análisis de procesos hospitalarios”. Marque con una cruz (X) según corresponda en A (alto), M (medio) o B (bajo).

No	Fuente de argumento	Grado de influencia de cada una de las fuentes		
		A (alto)	M (medio)	B (bajo)
1	Estudios teóricos realizados por usted.			
2	Experiencia adquirida durante su vida profesional.			
3	Conocimiento de investigaciones y/o publicaciones nacionales e internacionales.			
4	Conocimiento propio sobre el estado del tema de investigación.			
5	Actualización en cursos de postgrado, diplomados, maestrías, doctorado, etc.			
6	Intuición			

Cálculo del coeficiente de competencia de los expertos que evaluaron el modelo desarrollado.

El cálculo de dicho coeficiente se realiza de la forma siguiente:

$$K_{comp} = \frac{1}{2} (K_c + K_a)$$

Donde:

K_{comp}: Coeficiente de competencia.

K_c: Coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto acerca del problema, calculado sobre la valoración del propio experto en una escala de 0 a 10 y multiplicado por 0,1.

K_a: Coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del experto, obtenido como resultado de la suma de los puntos de acuerdo a la siguiente tabla patrón:

Tabla 9. Fuentes de argumentación del conocimiento de los expertos. Fuente: elaboración propia.

No	Fuentes de argumentación	Alto (A)	Medio (M)	Bajo (B)
1	Análisis teóricos realizados	0,30	0,20	0,10
2	Experiencia adquirida durante su vida profesional.	0,50	0,37	0,30
3	Conocimiento de investigaciones y/o publicaciones nacionales e internacionales.	0,05	0,04	0,03
4	Conocimiento propio sobre el estado del tema de investigación.	0,05	0,04	0,03
5	Actualización en cursos de postgrado, diplomados, maestrías, doctorado, etc.	0,05	0,04	0,03
6	Intuición.	0,05	0,03	0,02
	Total	1,00	0,70	0,50

Se plantea entonces que:

La Competencia del experto es de Alta (A): Si $K_{comp} > 0,7$

La Competencia del experto es Media (M): Si $0,5 < K_{comp} = < 0,7$

La Competencia del experto es Baja (B): Si $K_{comp} = < 0,5$

RESULTADOS: Competencia de los 21 expertos que participaron en la valoración del modelo elaborado.

Tabla 10. Resultados de la encuesta aplicada a los candidatos a expertos para determinar nivel de competencia. Fuente: Elaboración propia.

Expertos	Kc	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	Ka	Kcomp	valor
1	1,0	0,20	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	0,90	0,95	alto
2	1,0	0,30	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	1,0	alto
3	1,0	0,30	0,50	0,04	0,05	0,05	0,05	0,99	0,99	alto
4	0,9	0,30	0,50	0,50	0,04	0,04	0,05	0,98	0,94	alto
5	0,9	0,30	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	0,95	alto
6	1,0	0,30	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	1,0	alto
7	1,0	0,30	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	1,0	alto
8	0,8	0,20	0,50	0,04	0,04	0,04	0,03	0,85	0,81	alto
9	0,7	0,20	0,37	0,04	0,04	0,04	0,03	0,72	0,71	alto
10	0,8	0,20	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	0,90	0,85	alto
11	1,0	0,30	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	1,0	alto
12	0,9	0,20	0,37	0,03	0,03	0,03	0,05	0,71	0,80	alto
13	0,8	0,20	0,37	0,04	0,04	0,03	0,03	0,71	0,75	alto
14	1,0	0,30	0,50	0,05	0,05	0,05	0,05	1,0	1,0	alto
15	0,7	0,20	0,50	0,04	0,05	0,04	0,05	0,89	0,79	alto
16	0,7	0,20	0,37	0,03	0,03	0,03	0,02	0,68	0,69	medio
17	0,8	0,30	0,37	0,05	0,04	0,04	0,03	0,83	0,81	alto
18	0,8	0,20	0,50	0,04	0,05	0,05	0,03	0,87	0,83	alto
19	0,7	0,30	0,37	0,04	0,04	0,05	0,03	0,83	0,76	alto
20	0,9	0,20	0,37	0,04	0,05	0,05	0,05	0,76	0,83	alto
21	0,8	0,30	0,37	0,03	0,04	0,04	0,05	0,83	0,81	alto

Anexo 20. Cuestionario para evaluar la aceptación del modelo por los expertos.

MODELO PARA LA DETECCIÓN DE VARIABILIDAD EN PROCESOS HOSPITALARIOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE MINERÍA DE PROCESOS						
Datos del encuestado						
Entidad:						
Área:						
Nombre y Apellidos:						
Cargo o Rol:						
Nivel Escolar:	Técnico Medio	<input type="checkbox"/>	Universitario	<input type="checkbox"/>		
Categoría Docente:	Instructor	<input type="checkbox"/>	Asistente	<input type="checkbox"/>	Auxiliar	<input type="checkbox"/>
Categoría Científica:	Especialista	<input type="checkbox"/>	Máster	<input type="checkbox"/>	Doctor	<input type="checkbox"/>
Años de experiencia:						
#	Afirmaciones	Respuesta				
1	Los componentes de análisis que forman parte del modelo propuesto favorecen la detección de variabilidad y la toma de decisiones sobre la ejecución de los procesos de las instituciones de salud.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
2	Los principios teóricos establecidos sustentan un modelo que propicia la detección de variabilidad en los procesos de forma efectiva en las instituciones sanitarias.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
3	La forma en que el modelo integra los principios establecidos en su funcionamiento, contribuye a su aplicación en entornos reales y favorecer la planificación, gestión y control de los recursos.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
4	La estructura del modelo articula adecuadamente los principios establecidos, representando apropiadamente los componentes para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
5	Los elementos que conforman el modelo y el modo en que estos funcionan, hace factible su empleo para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
6	Los componentes que conforman el modelo y las fuentes teóricas que los sustentan, cubren aspectos relevantes para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
7	El modelo propuesto responde al cumplimiento de objetivos del programa para el perfeccionamiento continuo de la calidad de los servicios hospitalarios.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
8	La actualidad del modelo propuesto y los componentes que lo integran, contribuyen al avance de los procesos de salud hacia una prestación de servicios con la calidad requerida.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
9	Es pertinente aplicar el modelo desarrollado para detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			
10	Los beneficios identificados constituyen los principales resultados que aporta el modelo propuesto a la gestión por procesos en instituciones sanitarias y su mejoramiento continuo.	MA	<input type="checkbox"/>	ED	<input type="checkbox"/>	
		DA	<input type="checkbox"/>	CD	<input type="checkbox"/>	
		Si-No	<input type="checkbox"/>			

Los planteamientos utilizados para aplicar la técnica fueron los siguientes:

- Los componentes de análisis que forman parte del modelo propuesto favorecen la detección de variabilidad y la toma de decisiones sobre la ejecución de los procesos de las instituciones de salud.
- Los principios teóricos establecidos sustentan un modelo que propicia la detección de variabilidad en los procesos de forma efectiva en las instituciones sanitarias.
- La forma en que el modelo integra los principios establecidos en su funcionamiento, contribuye a su aplicación en entornos reales y favorecer la planificación, gestión y control de los recursos.
- La estructura del modelo articula adecuadamente los principios establecidos, representando apropiadamente los componentes para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios.
- Los elementos que conforman el modelo y el modo en que estos funcionan, hace factible su empleo para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.
- El modelo propuesto responde al cumplimiento de objetivos del programa para el perfeccionamiento continuo de la calidad de los servicios hospitalarios.
- La actualidad del modelo propuesto y los componentes que lo integran, contribuyen al avance de los procesos de salud hacia una prestación de servicios con la calidad requerida.
- Es pertinente aplicar el modelo desarrollado para detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.
- Los beneficios identificados constituyen los principales resultados que aporta el modelo propuesto a la gestión por procesos en instituciones sanitarias y su mejoramiento continuo.

Respuestas dadas por los expertos para cada indicador

5: Muy De Acuerdo (MA)

4: De Acuerdo (DA)

3: Ni de Acuerdo Ni en Desacuerdo (Si-No)

2: En Desacuerdo (ED)

1: Completamente en Desacuerdo (CD).

Tabla 11. Respuestas dadas por los expertos para cada indicador. Fuente: Elaboración propia.

Experto	Indicador									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4
2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
3	5	5	5	5	5	4	5	5	5	4
4	5	5	4	4	5	4	4	4	5	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
7	5	5	4	4	5	4	5	5	5	5
8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
9	5	5	5	5	4	4	5	5	4	5
10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
11	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
12	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
13	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
14	5	5	4	5	5	5	4	5	5	5
15	4	5	5	5	5	4	4	5	3	3
16	5	4	5	4	5	5	3	5	4	5
17	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4
18	4	4	4	5	4	5	5	4	4	5
19	5	5	4	5	5	4	4	5	4	3
20	5	3	3	4	5	4	4	5	5	5
21	5	4	5	5	5	4	5	3	4	4

Los resultados fueron validados a partir del coeficiente Alpha de Cronbach. A continuación se muestran los resultados.

Fórmula del Coeficiente Alpha de Cronbach:

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

K: Número de ítems.

$\sum S_i^2$: Sumatoria de Varianzas de los elementos (ítems).

S_T^2 : Varianza de la suma de los elementos (ítems).

α : Coeficiente Alpha de Cronbach.

Las respuestas fueron codificadas a los valores 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente. Se procedió a calcular la varianza de la población, para ello se utilizó el software estadístico SPSS 22.0, los valores obtenidos para cada ítem fueron:

Tabla 15. Varianza de los resultados de la encuesta por preguntas.

ítems	Varianza de la población
Pregunta 1	0,24
Pregunta 2	0,15
Pregunta 3	0,25
Pregunta 4	0,15
Pregunta 5	0,33
Pregunta 6	0,34
Pregunta 7	0,34
Pregunta 8	0,30
Pregunta 9	0,34
Pregunta 10	0,44

La sumatoria de varianzas de los ítems ($\sum S_i^2$) dio como resultado 2,89 y la varianza de la suma de los ítems (S_T^2) resultó 9,80. Al aplicar la fórmula anterior y conociendo que el valor del número de ítems (K) es 10, el coeficiente Alpha de Cronbach resultó 0,78, como se muestra a continuación.

$$\alpha = \frac{10}{10-1} \left[1 - \frac{2,89}{9,80} \right]$$

$$\alpha = 1,1 [1 - 0,29]$$

$$\alpha = 0,78$$

Entre más cerca de 1 está α , más alto es el grado de confiabilidad (se puede definir como la estabilidad o consistencia de los resultados obtenidos).

Anexo 21. Cuestionario para evaluar la satisfacción de usuarios con respecto al modelo MDV.

EVALUACION DE LA PROPUESTA DEL MODELO PARA LA DETECCIÓN Y ANÁLISIS DE VARIABILIDAD EN PROCESOS HOSPITALARIOS UTILIZANDO TÉCNICAS DE MINERÍA DE PROCESOS					
Entidad:					
País:					
Datos del Encuestado					
Cargo o Rol:			Nombre y Apellidos:		
Nivel Escolar:	Técnico Medio	<input type="checkbox"/>	Universitario	<input type="checkbox"/>	
Categoría Docente:	Instructor	<input type="checkbox"/>	Asistente	<input type="checkbox"/>	Auxiliar <input type="checkbox"/> Titular <input type="checkbox"/>
Categoría Científica:	Especialista	<input type="checkbox"/>	Máster	<input type="checkbox"/>	Doctor <input type="checkbox"/>
Años de experiencia:					
No	Preguntas				Respuestas
1	¿Ha realizado análisis de procesos hospitalarios en algún momento?				Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
2	¿Conoce usted de algún modelo que le permita hacer estos análisis?				Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
3	¿Considera usted que sin detectar y analizar la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios, se pueda aportar eficientemente al control, gestión y ahorro de los recursos?				Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
4	¿Considera usted que es aconsejable realizar análisis de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios con apoyo de las TIC?				Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
5	¿Si usted necesitara detectar y analizar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios usaría el modelo propuesto?				Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
6	¿Considera que la utilización de este modelo estimulará la toma de decisiones en las instituciones sanitarias?				Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
7	¿Le satisface el modelo propuesto para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios?				Me gusta mucho. <input type="checkbox"/> No me gusta tanto. <input type="checkbox"/> Me da lo mismo. <input type="checkbox"/> Me disgusta más de lo que me gusta. <input type="checkbox"/> No me gusta nada. <input type="checkbox"/> No sé qué decir. <input type="checkbox"/>
8	¿Qué relevancia le concede usted a la vinculación del análisis de procesos hospitalarios con un modelo para la detección de variabilidad que incorpora una herramienta de análisis?				Entre 0 y 10 <input type="text"/>
9	Valore el impacto que produciría el uso de un modelo para detectar y analizar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios.				Entre 0 y 10 <input type="text"/>
10	Evalúe si el modelo propuesto puede aportar al ahorro, gestión y control de los recursos, en función de elevar la calidad de los servicios que se brindan en las instituciones sanitarias.				Entre 0 y 10 <input type="text"/>

11.- ¿Qué elementos considera positivos de este modelo?

12.- ¿Qué elementos considera negativos de este modelo?

13.- ¿Qué sugerencias tiene para el desarrollo e implantación de este modelo?

Tabla 16. Cuadro Lógico de ladov modificado por el autor.

	¿Considera usted que sin detectar y analizar la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios, se pueda aportar efectivamente a la gestión, control y planificación de los servicios y recursos de las instituciones sanitarias?								
	No			No sé			Sí		
	¿Si usted necesitara detectar variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios usaría el modelo propuesto?								
¿Le satisface la representación de este modelo, para la detección de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios?	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No
Me satisface mucho	1	2	6	2	2	6	6	6	6
No me satisface tanto	2	2	3	2	3	3	6	3	6
Me da lo mismo	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Me insatisface más de lo que me satisface	6	3	6	3	4	4	3	4	4
No me satisface nada	6	6	6	6	4	4	6	4	5
No sé qué decir	2	3	6	3	3	3	6	3	4

Anexo 22. Temas abordados en la entrevista en profundidad.

- Experiencia de la entrevistada, cargos, roles y responsabilidades ocupadas durante su trayectoria profesional.
- Educación. Nivel educativo, condicionantes del recorrido curricular.
- La gestión por procesos en instituciones hospitalarias, retos y perspectivas desde el punto de vista de la entrevistada.
- El análisis de los procesos hospitalarios, particularidades de Cuba.
- Importancia para los análisis de conocer la variabilidad en sus procesos.
- Impacto que tiene el control y reducción de la variabilidad en procesos hospitalarios.
- Expectativas de futuro y aceptación de las tecnologías para su uso en las instituciones hospitalarias.
- Sobre el modelo MDV: pertinencia, actualidad y novedad de la propuesta.
- Beneficios que traería la aplicación del modelo instituciones sanitarias cubanas.
- Ajuste de MDV para el entorno hospitalario cubano.

Anexo 23. Valores de frecuencia de ejecución utilizando Fuzzy Miner.

Tabla 17. Valores de frecuencia de 6 procesos del sistema XAVIA HIS.

Procesos del HIS	Fechas (registro de eventos)	Valor de frecuencia (VF)	HIS (actividades con valor inferior al VF)
Distribuir producto	2011-05-01 /2015-05-01	80%	Autorizar_despacho(start):0.73
Desincorporar productos	2011-03-01 /2015-05-01	42%	Acta_de_desincorporacion(complete):0.35 Aprobar_desincorporacion(start): 0.27
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
Transferencia hospitalaria	2011-10-05 /2015-11-01	75%	Procesar_transferencia_hospitalaria(start): 0.71
Interconsultas	2008-01-03 /2015-10-01	45%	0
Solicitud interconsulta hospitalaria	2011-02-01 /2015-05-05	70%	Crear_hoja_interconsulta_hospitalaria(start): 0.48 Crear_hoja_preanestesica(start):0.53

Anexo 24. Composición de los especialistas participantes en el grupo focal.**Tabla 18.** Composición de los especialistas del Grupo Focal.

Especialista	Cargo	Años de Exp.
Lic. Bárbara Cuellar Rodríguez	Estadística Dirección Municipal de Salud SS	26
Dra. Daneisy Alba Díaz	Asesora Dirección Municipal de Salud SS	19
Lic. Ela Salguera Hernández	Jefe de Estadísticas municipio SS	30
Dra. Yaneisy Valdés Gutiérrez	Subdirectora Municipal de Salud SS	12
Dra. Maday Montero Rodríguez	Subdirectora General Policlínico Norte SS	15
Gretel Navarro Estévez	Directora Policlínico Guasimal SS	18
Lic. Lisdani Ruiz Álvarez	Especialista Principal Estadística Hosp. Prov.	23
Lic. Luisa Cárdenas Martínez	Estadística Dirección Provincial de Salud SS	32
Lic. Clara Sánchez Chaviano	Asesora Registros Médicos Dir. Prov. SS	43
Dra. Jenny Fernández Luano	Funcionaria Dirección Provincial de Salud SS	13
Lic. Nancy Castillo Cuellar	Estadística Dirección Provincial de Salud SS	30

Anexo 25. Guía de desarrollo del Grupo Focal.**Número de participantes:** 11.**Fecha:** 14 de abril del 2016.**Lugar:** Salón de reuniones Dirección Provincial de Salud Pública Sancti Spíritus.**Hora:** 2:30 PM.**Apertura**

- Describir lo que constituye un grupo focal.
- Explicar el objetivo de la reunión.
- Explicar procedimiento.

Presentación de MDV.

1. Objetivo

Objetivo de la Investigación
Desarrollar un modelo, que adapte e integre técnicas de minería de procesos en sistemas de información de salud, para detectar variabilidad en la ejecución de sus procesos.
Objetivo del Grupo Focal
Comprobar la apreciación y el criterio que tiene un grupo de especialistas en el objeto de estudio con respecto al Modelo para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios utilizando técnicas de minería de procesos (MDV).

Moderador: MSc. Arturo Orellana García.**Observador:** Lic. José Carlos Cabrales.

Relatoría: Lic. Olga Lidia Rodríguez Vázquez.

Guía de preguntas

- De los análisis de procesos que se realizan en las instituciones sanitarias ¿Qué elementos consideran que deberían incorporarse en MDV?
- ¿Considera que la minería de procesos puede ser factible para el análisis de la variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios?
- ¿Considera correctos los criterios propuestos para la selección de técnicas de minería de procesos para el análisis de procesos hospitalarios?
- ¿Cree que las técnicas seleccionadas, las cuales usan información basada en la evidencia médica, son pertinentes para analizar la variabilidad en la ejecución de los procesos hospitalarios?
- ¿Considera que el modelo contribuye a la detección y análisis de variabilidad en la ejecución de procesos hospitalarios?
- ¿Considera que el modelo propuesto otorgará beneficios sustanciales sobre importantes funciones gerenciales como la planificación, gestión y control de los recursos en instituciones sanitarias?