



Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 3

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

**VISTA DE ANALISIS PARA IDENTIFICAR
CUELLOS DE BOTELLA EN LA EJECUCION DE
LOS PROCESOS DE SIPAC**

Autores

Julio César Álvarez de la Fuente

Alejandro Castillo López

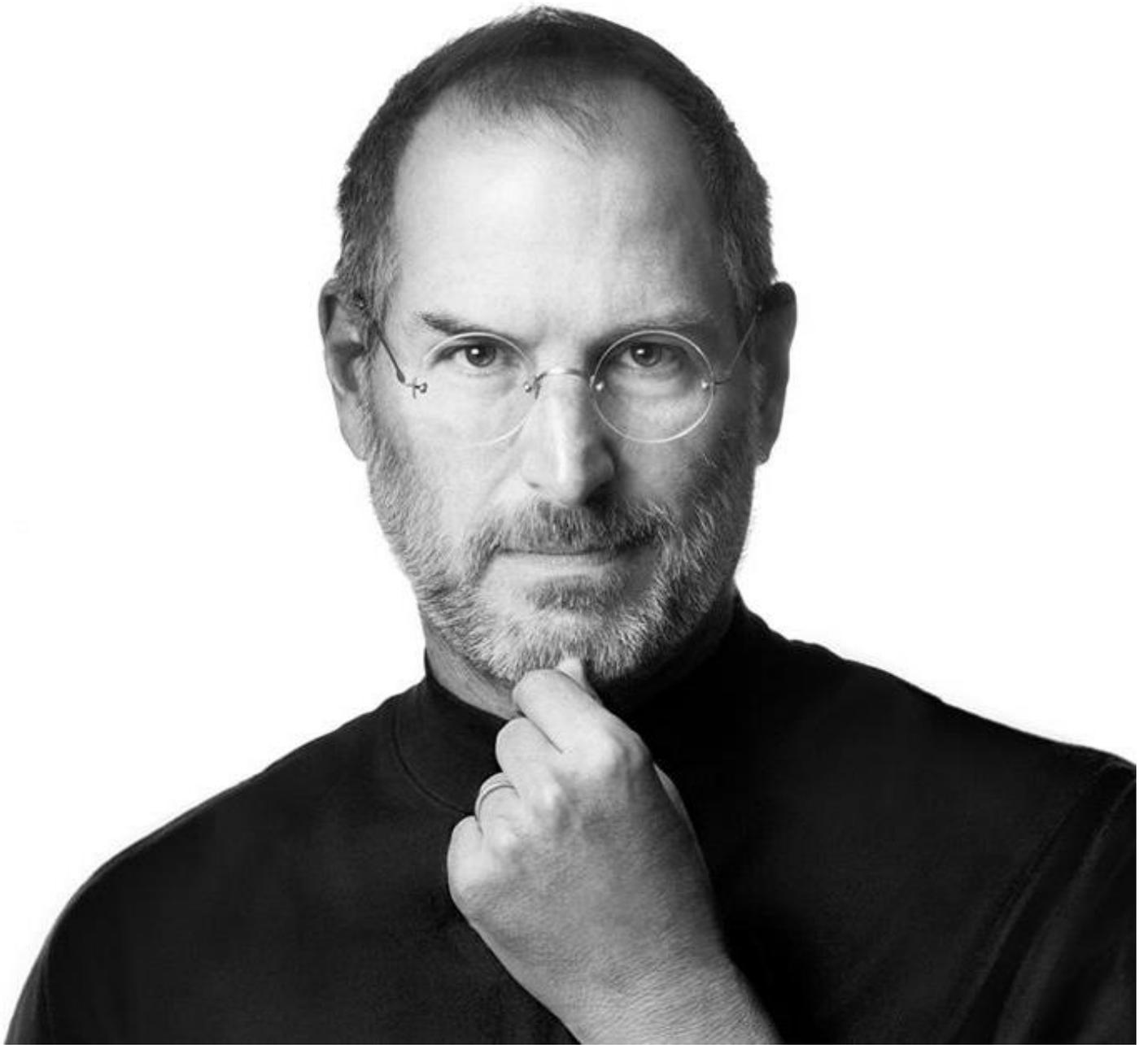
Tutores

Ing. María Teresa Rosales González

Dr. C. Arturo Orellana García

La Habana, junio 2016

“Año 59 de la Revolución”



"La innovación distingue entre un líder y un seguidor"

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos ser autores de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

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

Julio César Álvarez de la Fuente

Firma del Autor

Alejandro Castillo López

Firma del Autor

María Teresa Rosales González

Firma del Tutor

Arturo Orellana García

Firma del Tutor

DATOS DE CONTACTOS

Ing. María Teresa Rosales González (mtrosales@uci.cu): Graduada de Ingeniería en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas en el año 2012. Investigador de la Minería de Procesos. Miembro del grupo de investigación de minería de procesos. Especialista en la producción de software en el Centro de Informatización de Entidades CEIGE.

Dr. C. Arturo Orellana García (aorellana@uci.cu): Graduado de Ingeniería en Ciencias Informáticas en la Universidad de las Ciencias Informáticas en el año 2012. Máster en Informática Aplicada desde el 2015 en la Universidad de las Ciencias Informáticas UCI, La Habana, Cuba. Investigador de la Minería de Procesos. Miembro del grupo de investigación de minería de procesos. Autor de varias publicaciones indexadas sobre la aplicación de la minería de procesos al sector hospitalario. Especialista en la producción de software en el Centro de Informática Médica de la UCI.

DEDICATORIA

Dedico mi Trabajo de Diploma:

*A mis padres, por su sacrificio y entrega, a mi abuela, por ser
la mejor y a mis hermanos.*

Alejandro

Dedico este Trabajo Diploma:

A mi mamá, por su ejemplo de mujer, madre y amiga.

A mi papá, a mis abuelos, a mis hermanos.

*A todos esos grandes amigos que han sido apoyo y guía durante
toda la vida.*

Julio

RESUMEN

La planificación es una de las funciones más importantes de la Gestión Empresarial y se considera la principal tarea de la administración, por lo que su correcta utilización beneficiará la actividad económica nacional y el desarrollo del país. El Sistema de Planificación de Actividades fue desarrollado por la Universidad de las Ciencias Informáticas. El mismo pretende informatizar y homogeneizar el proceso de planificación de objetivos y actividades a corto, mediano y largo plazo que se realiza en todos los niveles de dirección del país.

Las técnicas de minería de procesos son capaces de extraer conocimiento de los registros de eventos comúnmente disponibles en los actuales sistemas de información. Cuando estos eventos tienen asociados marcas de tiempo, es posible descubrir cuellos de botella en los procesos, estos ocurren cuando una actividad tiene una capacidad de respuesta inferior a la cantidad de entradas que recibe, debido a la ineficiente gestión de los recursos o insuficiente personal. El objetivo de la presente investigación es: desarrollar una vista de análisis para identificar cuellos de botella o sobrecargas en SIPAC, a partir de su registro de eventos. Para su implementación se utilizó la técnica *Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance*, el lenguaje de programación Java, así como la integración de plugins del marco de trabajo ProM, el cual es una de las herramientas de minería de procesos más utilizadas en la actualidad. Para validar se utilizó un caso de estudio, comparando resultados entre ProM y la herramienta desarrollada, teniendo en cuenta usabilidad y comprensión. Para medir satisfacción se utilizó la técnica ladov, obteniendo resultados satisfactorios entre los usuarios decisores de SIPAC.

Palabras claves: cuello de botella, minería de proceso, planificación, actividades, SIPAC, técnicas.

ABSTRACT

Planning is one of the most important functions of Business Management and is considered the main task of management, hence its correct use will benefit the national economic activity and the country's development. The Activity Planning System was developed by the University of Computer Science. It seeks to computerize and homogenize the process of planning objectives and activities in the short, medium and long term that is carried out at all levels of management in the country.

Process mining techniques are capable of extracting knowledge from event logs commonly available in current information systems. When these events have associated time stamps, it is possible to discover bottlenecks in processes, these occur when an activity has a lower response capacity than the amount of inputs it receives due to inefficient resource management or insufficient staffing. The objective of the present investigation is: to develop a view of analysis to identify bottlenecks or overloads in SIPAC, from its record of events. For its implementation, the technique Replay a log on Petri Net for Performance / Conformance was used, Java programming language, as well as the integration of ProM framework plugins, which is one of the most used process mining tools currently. To validate a case study was used, comparing results between ProM and the developed tool, taking into account usability and comprehension. To measure satisfaction, the ladov technique was used, obtaining satisfactory results among the users of SIPAC.

Keywords: bottleneck, process mining, planning, activities, SIPAC, techniques.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”	7
1.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 1	7
1.2 CONCEPTOS ASOCIADOS	7
1.3 PROCESOS DE PLANIFICACIÓN.....	9
1.3.1 Características de la Planificación.....	9
1.3.2 Patrón del Proceso de Planificación	10
1.4 SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES (SIPAC).....	10
1.4.1 Análisis de SIPAC	11
1.5 MINERÍA DE PROCESOS.....	11
1.5.1 Perspectivas de la Minería de Procesos.....	12
1.6 ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE DE TECNOLOGÍAS Y HERRAMIENTAS.....	12
1.6.1 Herramientas Académicas	13
1.6.2 Herramientas Comerciales	13
1.7 TÉCNICAS DE MINERÍA DE PROCESOS PARA DETECCIÓN DE CUELLOS DE BOTELLA EN EL MARCO DE TRABAJO PROM.....	15
1.8 AMBIENTE DE DESARROLLO	19
1.9 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 1	20
CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCIÓN”	21
2.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 2	21
2.2 REPLAY A LOG ON PETRI NET FOR PERFORMANCE/CONFORMANCE.....	21
2.2.1 Entradas de la técnica Replay P/C	21
2.2.2 Dependencias funcionales	27
2.2.3 Algoritmo utilizado por la técnica	27
2.2.4 Estadísticas y filtros.....	28
2.2.5 Salidas	29
2.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	33
2.3.1 Modelo conceptual de la herramienta.....	33
2.3.2 Arquitectura de desarrollo	34
2.3.3 Patrones de diseño	35
2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO 2	37
CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN PROPUESTA DE SOLUCION”	39
3.1 INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 3	39
3.2 IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	39
3.2.1 Generación y obtención del registro de eventos.....	39
3.2.2 Obtención de una Red de Petri	40
3.2.3 Obtención del Manifiesto.....	41
3.3 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS Y VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS	41
3.4 VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN	41
3.4.1 Ejecución de la técnica Replay P/C desde ProM.....	42
3.4.2 Ejecución de la técnica Replay P/C en la propuesta de solución.....	46
3.5 ÍNDICE DE SATISFACCIÓN GRUPAL	48

3.5.1	Aplicación de la técnica ladov para medir satisfacción	51
3.6	IMPACTO DE LA SOLUCIÓN	51
3.7	CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO 3	52
CONCLUSIONES GENERALES		53
RECOMENDACIONES.....		54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		55
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXOS		66

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1:	PREGUNTAS QUE SIPAC NO RESPONDE COMPLETAMENTE	11
TABLA 2:	CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTOS DE SOFTWARE, FACILITAR LA TOMA DE DECISIÓN	14
TABLA 3:	COMPARACIÓN ENTRE LAS TÉCNICAS PARA LA TOMA DE DECISIÓN.	18
TABLA 4:	COMPARACIÓN DE EQUILIBRIO DE LAS TÉCNICAS SELECCIONADAS SOBRE LAS DIMENSIONES DE CALIDAD.	26
TABLA 5:	CUADRO LÓGICO DE IADOV CON PREGUNTAS REFORMADAS.	48
TABLA 6:	VALORES DE LOS COEFICIENTES DE LA TÉCNICA DE IADOV PARA LA SATISFACCIÓN GRUPAL.	50

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1:	ESTRUCTURA DE UN REGISTRO DE EVENTOS	8
FIGURA 2:	REPRESENTACIÓN DE LA TÉCNICA FPD	16
FIGURA 3:	REPRESENTACIÓN DE LA TÉCNICA IVM	17
FIGURA 4:	REPRESENTACIÓN DE LA TÉCNICA "REPLAY P/C"	18
FIGURA 5:	VISUALIZACIÓN "ALPHA ALGORITHM (A)"	22
FIGURA 6:	VISUALIZACIÓN "INTEGER LINEAR PROGRAMMING"	23
FIGURA 7:	VISUALIZACIÓN "INDUCTIVE MINER ALGORITHM"	24
FIGURA 8:	EQUILIBRIO DE LAS CUATRO DIMENSIONES DE LA CALIDAD.	25
FIGURA 9:	VISTA DEL PANEL DE ESTADÍSTICAS.....	28
FIGURA 10:	VISTA ESTÁNDAR "PROJECTS ALIGNMENTS TO LOG"	29
FIGURA 11:	VISTA POR DEFECTO "PERFORMANCE PROJECTION TO MODEL"	30
FIGURA 12:	VISUALIZACIÓN "PROJECT MANIFEST TO MODEL FOR CONFORMANCE"	30
FIGURA 13:	VISUALIZACIÓN "TRACE ALIGNMENT OF MANIFESTS"	31
FIGURA 14:	VISUALIZACIÓN "XFREQUENT MOVEMENT SETS MINING FOR DEVIATION ANALYSIS"	32
FIGURA 15:	VISUALIZACIÓN "SYNCHRONOUS TRANSITIONS ANALYSIS"	33
FIGURA 16:	DIAGRAMA DE LA HERRAMIENTA PARA DETECTAR CUELLOS DE BOTELLA.....	34
FIGURA 17:	EJEMPLO DEL PATRÓN FACHADA.	37
FIGURA 18:	DIAGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN.	39
FIGURA 19:	FRAGMENTO DE UN REGISTRO DE EVENTO DE SIPAC.	40
FIGURA 20:	IMPORTACIÓN DEL REGISTRO DE EVENTO.	43
FIGURA 21:	SELECCIÓN DE LA TÉCNICA PARA OBTENER EL MODELO INICIAL.....	43

FIGURA 22: FRAGMENTO DE LA RED DE PETRI INICIAL.....	43
FIGURA 23: SELECCIÓN DE LA TÉCNICA REPLAY A LOG ON PETRI NET FOR PERFORMANCE/CONFORMANCE.	44
FIGURA 24: CONFIGURACIÓN DE ATRIBUTO “TIMESTAMP” PARA ANALIZAR EL TIEMPO.....	44
FIGURA 25: VISUALIZACIÓN DE UN CUELLO DE BOTELLA EN EL REGISTRO DE EVENTO DE SIPAC.....	45
FIGURA 26: TABLA QUE MUESTRA LA INFORMACIÓN REFERENTE A TIEMPOS DE ESPERA, ESTADÍA Y PROCESAMIENTO.	45
FIGURA 27: PANEL DE CONFIGURACIÓN REPRESENTAR INFORMACIÓN EN TRANSICIONES, LUGARES Y ARCOS.....	46
FIGURA 28: IMPORTACIÓN DEL REGISTRO DE EVENTO	47
FIGURA 29: RESULTADO DE LA TÉCNICA REPLAY P/C EN LA HMP.	48
FIGURA 31: GRÁFICA DE SATISFACCIÓN.	51
FIGURA 32: SELECCIÓN DE LOS EVENTOS.	66
FIGURA 33: SELECCIONAR MAPA DE TRANSICIÓN.	66
FIGURA 34: SELECCIÓN DE LOS ALGORITMOS.	67
FIGURA 35: COSTO DE MOVIMIENTOS.....	67

INTRODUCCIÓN

Existe una tendencia en las organizaciones de realizar la gestión de su información mediante sistemas automatizados, lo que facilita la interacción con la información y agiliza la toma de decisiones (Tendencias actuales en Sistemas de Información, 2016). En este contexto, aprovechar los datos de eventos para proveer un mejor entendimiento de los procesos y cómo mejorar su rendimiento constituye un desafío.

Entre los aspectos que inciden negativamente en el rendimiento y calidad de los procesos están los cuellos de botella, estos están presentes cuando una actividad de proceso tiene una capacidad de respuesta inferior a la cantidad de entradas que recibe, ya sea por insuficiente personal o mala gestión de los recursos.

En la Facultad 3 de la Universidad de las Ciencias Informáticas existen dos centros productivos, uno de ellos es el Centro de Informatización de Entidades (CEIGE), que cuenta entre sus productos, con el Sistema de Planificación de Actividades (SIPAC), el cual surgió con el propósito de informatizar y homogeneizar el proceso de planificación de objetivos y actividades a corto, mediano y largo plazo (Ramírez et al., 2012).

SIPAC permite la informatización de los procesos del negocio:

- Elaboración.
- Puntualización
- Aprobación-Conciliación
- Ejecución y Control del Plan
- Evaluación de los Objetivos.

Contribuye a la toma de decisiones sobre la planificación, el control y la gestión de actividades, personas y recursos en las organizaciones (González et al., 2012). Minimiza el tiempo del diagnóstico de la ejecución de los procesos de negocio en sistemas de información de planificación estratégica y operativa a los directivos. Con el objetivo de aprovechar esta información, se desarrolló un componente que propicia la extracción y transformación de los datos contenidos en las trazas de ejecución en un registro de eventos.

Hasta el momento en que se realiza la presente investigación, SIPAC provee la gestión automatizada de los procesos, pero no el seguimiento y control de los mismos; por lo que se desconoce la periodicidad con la cual se actualiza el cumplimiento de las tareas. Esto incide negativamente en los siguientes aspectos:

Si se ejecuta el proceso de Ejecución y Control del Plan, para cumplir los plazos que establece la Instrucción No. 1¹.

- Si este proceso se ejecuta periódica y sistemáticamente.
- Si el proceso se paraliza o se demora por la ocurrencia de un factor externo (cuello de botella), o no se realiza en lo absoluto.

Durante el proceso de Elaboración del Plan se obtienen reportes de caracterización del mismo, teniendo en cuenta cantidad de actividades externas, internas y de aseguramiento por capítulos. Esto permite conocer si las organizaciones realizan mayor número de actividades asignadas por el nivel superior o las que planifican ellos como organización. Esta información permite concluir si se está trabajando en función de cumplir actividades externas o encaminando sus planes al cumplimiento de su función estatal.

En SIPAC se gestiona el proceso de Aprobación/Conciliación del Plan, pero no cuenta con una solución que permita conocer la periodicidad o sistematicidad con la que se realiza el mismo, ni cuenta con indicadores que resuman las tareas por estados de aprobación. Esto repercute para el análisis de la ejecución de dicho proceso, debido a que no se puede determinar:

- Si la cantidad de actividades aprobadas representan mayoría con respecto a las rechazadas, o viceversa.
- Si realmente se cumple con todo el flujo de aprobación de los elementos, es decir, si la mayoría de los estados asociados a los elementos son estados finales.
- En qué medida el proceso de aprobación-conciliación se realiza en las fechas establecidas por la Instrucción No. 1.
- Si en algún momento el proceso se detiene o demora por una causa determinada como la aparición de un cuello de botella.

Para el proceso de Puntualización del Plan el sistema obtiene el Informe de Puntualizaciones para un mes determinado. Aunque no se contabiliza el peso del mismo, es decir, no se conoce si hay exceso de tareas puntualizadas y extra-planes. Tampoco notifica si dichas puntualizaciones se realizan en el marco establecido o si en

¹ Instrucción No. 1 del Presidente de los Consejos de Estado y de Ministros para la Planificación de los objetivos y actividades en los Órganos, Organismos de la Administración Central del Estado, Entidades nacionales y las Administraciones Locales del Poder Popular, en 2011.

algún momento dicho proceso se ve detenido o demorado por la ocurrencia de un cuello de botella. Esto afecta negativamente el análisis que se puede realizar sobre la ejecución de este proceso, debido a que no se puede determinar cómo se comporta el principio de Respeto al Plan establecido en la Instrucción No.1.

Los cuellos de botella formados en SIPAC traen consigo un conjunto de dificultades e insuficiencias en los servicios que este brinda, entre las cuales se identificaron:

- Afectaciones en el flujo de ejecución de los procesos.
- Incumplimiento con los plazos establecidos por la instrucción No. 1, lo que trae consigo que no se ejecute y controle correctamente el plan.
- Actividades rechazadas debido a tardanzas en la transición de las mismas a Aprobación/Conciliación y en ocasiones pudieran no ser atendidas.
- Aumento de los tiempos de espera y el costo de ejecución de las actividades.
- Descontento y quejas en el cliente, repercutiendo negativamente en el prestigio e imagen del equipo de desarrollo.

Identificar las causas de los problemas anteriormente mencionados en las actividades de procesos, permite tomar medidas para optimizar su flujo de ejecución. El análisis de la frecuencia con que se llevan a cabo determinadas actividades, permite apoyar y tomar decisiones sobre las áreas más afluentes de las instituciones (León y Dávila, 2016). En la literatura consultada se identificaron entre las disciplinas más aplicadas para el análisis de procesos la simulación y la minería de procesos.

La simulación es el arte y ciencia de crear una representación o sistema para los propósitos de experimentación y evaluación. La cual se utiliza para optimizar y mejorar el diseño de los procesos productivos y logísticos actuales (Simergia Engineering, 2017) y permite predecir el comportamiento de los sistemas bajo diversas situaciones reales o previsibles.

La simulación presenta una limitante que la minería de procesos no posee, cuando de descubrimiento de cuellos de botella se trata, ya que la utilidad de la simulación varía con la veracidad del modelo. Para los procesos simples y estables esto puede funcionar, sin embargo, conocer y capturar todas las influencias relevantes sobre el comportamiento de procesos complejos resulta difícil (León y Dávila, 2016).

En la minería de procesos, los problemas no tienen que ser conocidos de antemano, estos pueden ser observados e investigados a partir de los datos objetivos (León y

Dávila, 2016). Su aplicación posibilita entender cómo son ejecutados en realidad los procesos en sistemas automatizados. La minería de procesos ayuda a identificar cuellos de botella, anticipar problemas, registrar violaciones de políticas, recomendar contramedidas y simplificar procesos (Aalst, 2011).

Para el análisis de los procesos aplicando técnicas de minería de procesos es necesario hacer uso de herramientas externas, las cuales generan modelos de la ejecución real de los procesos en sistemas automatizados (Aalst, 2011). Dichas herramientas presentan inconvenientes para la usabilidad y la comprensión de los modelos generados y se plantean estos problemas como desafíos en el Manifiesto de la Minería de Procesos. Además, los modelos generados por algunas de ellas como ProM, no se adecuan a la comprensión de usuarios no expertos en el área de la Minería de Procesos (Aalst, 2011).

Por todo lo anteriormente expuesto, se demuestra la necesidad que tienen los usuarios de SIPAC de contar con una solución que permita la identificación de cuellos de botella en los procesos del sistema, a partir de su registro de eventos. De este modo se puede prevenir la inestabilidad y demora en la ejecución de los mismos, debido a que su ocurrencia afecta negativamente los tiempos de respuesta y la calidad del plan realizado. Así mismo, apoyará la toma de decisiones al determinar las causas de posibles desviaciones de actividades en la organización.

A partir de **la problemática** descrita anteriormente se deriva el siguiente **problema a resolver**: ¿Cómo propiciar el análisis de cuellos de botella o sobrecargas en el flujo de ejecución de los procesos de SIPAC a partir de los datos de eventos de sus trazas de ejecución? El problema está centrado en el **objeto de estudio**: el proceso de planificación de actividades en Cuba. Como **campo de acción**: las técnicas de Minería de Procesos para la identificación de cuellos de botella en SIPAC.

Identificando como **objetivo general**: desarrollar una vista de análisis para identificar cuellos de botella o sobrecargas en SIPAC, a partir de su registro de eventos.

Para contribuir a la solución se propusieron las siguientes **tareas de investigación**:

- Elaboración del marco teórico metodológico referente a la gestión por procesos, la minería de procesos y los conceptos asociados al objeto de estudio.
- Desarrollo de la vista de análisis para la identificación de cuellos de botella en los procesos de SIPAC.

- Instanciar las técnicas para la identificación de cuellos de botella de los procesos de SIPAC.
- Desarrollo de las interfaces de la vista de análisis, que permitan modelar las instancias de procesos a partir del registro de eventos.
- Desarrollo de una funcionalidad que permita obtener un resumen del resultado obtenido.
- Integración de la vista de análisis como una herramienta de minería de procesos para SIPAC.
- Validación de la propuesta mediante técnicas y métodos definidos para la investigación.

Los **Métodos de investigación** que se utilizaron para darle cumplimiento al objetivo y las tareas planteados anteriormente, son:

Como métodos teóricos:

- **Analítico – Sintético**, realizándose un análisis bien detallado, término a término, sobre cada elemento que compone la investigación, se puso en práctica mediante un análisis de las herramientas que son utilizadas para detectar cuellos de botella en las actividades de procesos.
- **Histórico-Lógico**, analiza un determinado elemento o parámetro de la investigación en cuanto a su evolución. Esto permite conocer las ventajas y desventajas, así como seleccionar la solución más acorde al problema en cuestión. Este método se utilizó para analizar el surgimiento y la evolución de la minería de procesos, y de esa forma comprender mejor el campo de acción y el objeto de estudio.

Como métodos empíricos:

- **Observación**, haciendo un estudio visible de cómo se registraban los procesos en SIPAC en tiempo real y observando los problemas que podían ocurrir durante la ejecución de cada proceso en el sistema.
- **Encuesta**, como instrumento para conocer el índice de satisfacción de los usuarios de SIPAC.

El presente trabajo investigativo está estructurado en 3 capítulos los cuales son:

Capítulo I: “Fundamentación teórica de la investigación” se hace referencia a los principales fundamentos teóricos y metodológicos para la comprensión del objeto de estudio. Se describe en qué entorno se desarrolla la problemática. Se analizan las posibles soluciones y se exponen las herramientas y tecnologías que posteriormente se utilizan en la investigación.

Capítulo II: “Propuesta de solución” se ponen en práctica todos los conocimientos adquiridos, durante el análisis de la bibliografía y el estudio teórico realizado. Se dictan los estándares de codificación a utilizar durante el desarrollo. Se da cumplimiento al objetivo planteado y solución a la problemática. Se brinda una propuesta de solución y se explica su funcionamiento.

Capítulo III: “Implementación y validación de la propuesta de solución”, se aplican las diferentes pruebas que validan la propuesta de solución.

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

1.1 Introducción

El objetivo del capítulo es abordar los elementos de la base teórica y conceptual para el desarrollo de la solución propuesta. Se realiza una valoración de los principales antecedentes asociados al campo de acción y un análisis de las características de las técnicas de Minería de Procesos para la detección de cuellos de botella.

1.2 Conceptos asociados

Los conceptos que se escogieron durante el desarrollo del epígrafe son los proporcionados por el Manifiesto de la Minería Procesos (Aalst, 2011).

Proceso: Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados (van der Aalst, 2012).

Actividad: Es un paso bien definido en el proceso. Los eventos pueden referirse al inicio, conclusión, cancelación, etc., de una actividad para una instancia específica del proceso (van der Aalst, 2012).

Caso: Es una instancia de un proceso y la misma es la entidad siendo ejecutada por el proceso que es analizado. Los eventos se refieren a instancias del proceso. Ejemplos de instancias de un proceso son: pedidos de los clientes, reclamos de seguros, solicitudes de préstamos (IEEE Task Force on Process Mining, 2011).

Recurso: Normalmente los recursos son material u otros activos que son transformados para producir beneficio y en el proceso pueden ser consumidos o no estar más disponibles. Desde una perspectiva humana, un recurso natural es cualquier elemento obtenido del medio ambiente para satisfacer las necesidades y los deseos humanos (Miller, G.T. y Spoolman, 2011).

Registro de Eventos: Es la colección de eventos utilizados como entrada para la minería de procesos. Los eventos no necesitan ser almacenados en un archivo de registro por separado (por ejemplo, los eventos pueden estar dispersos en diferentes tablas de bases de datos) (Van der Aalst W. M. P., 2011a). Donde cada proceso está compuesto por casos que no son más que instancias del mismo. Un caso consiste en

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

eventos que representan pasos bien definidos dentro del proceso; los eventos poseen atributos, entre los atributos más usados se encuentran: actividad, tiempo, recurso y costo.

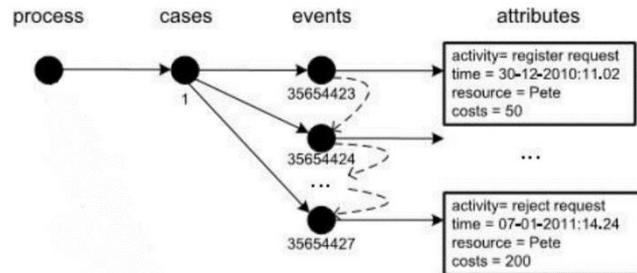


Figura 1: Estructura de un registro de eventos
Fuente: (Arturo Orellana 2015)

Red de Petri del inglés **Petri net**: Es una representación matemática o gráfica de un sistema a eventos discretos en el cual se puede describir la topología de un sistema distribuido, paralelo o concurrente. La red de Petri esencial fue definida en la década de los años 1960 por Carl Adam Petri. Son una generalización de la teoría de autómatas que permite expresar un sistema a eventos concurrentes.

Una red de Petri está formada por lugares, transiciones, arcos dirigidos y marcas o fichas que ocupan posiciones dentro de los lugares. Las reglas son: Los arcos conectan un lugar a una transición, así como una transición a un lugar. No puede haber arcos entre lugares ni entre transiciones. Los lugares contienen un número finito o infinito contable de marcas. Las transiciones se disparan, es decir consumen marcas de una posición de inicio y producen marcas en una posición de llegada. Una transición está habilitada si tiene marcas en todas sus posiciones de entrada (Esparza y Nielsen, 1994).

Las redes de Petri son un grafo orientado formado por:

- Plazas o lugares, representadas mediante circunferencias.
- Transiciones, representadas por segmentos rectilíneos.
- Arcos dirigidos que unen transiciones y plazas.

Cuellos de Botella: Se define que “los cuellos de botella son las actividades que disminuyen la velocidad de los procesos, incrementan los tiempos de espera y reducen la productividad, trayendo como consecuencia final el aumento en los costos”(CASAS, 2010). Una restricción o cuello de botella en los procesos, se presenta cuando una

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

actividad tiene una capacidad de respuesta inferior a la cantidad de entradas que recibe, debido a ineficiente gestión de los recursos o insuficiente personal.

1.3 Procesos de planificación

La planificación es la primera función administrativa porque sirve de base para las demás funciones. Esta función determina por anticipado cuáles son los objetivos que deben cumplirse y qué debe hacerse para alcanzarlos; por tanto, es un modelo teórico para actuar en el futuro. La planificación comienza por establecer los objetivos y detallar los planes necesarios para alcanzarlos de la mejor manera posible. La planificación determina dónde se pretende llegar, qué debe hacerse, cómo, cuándo y en qué orden debe hacerse (Bernal y Toro, 2012).

La planificación desde el punto de vista de diferentes pioneros de la administración se puede conceptualizar de las siguientes maneras:

- "La planificación es seleccionar información y hacer suposiciones respecto al futuro para formular las actividades necesarias para realizar los objetivos organizacionales." George Terry².
- "La planificación es una técnica para minimizar la incertidumbre y dar más consistencia al desempeño de la empresa." Idalberto Chiavenato³.

1.3.1 Características de la planificación

Las características más importantes de la planificación son las siguientes:

- La planificación es un proceso permanente y continuo.
- La planificación está siempre orientada hacia el futuro, está ligada a la previsión.
- La planificación busca la racionalidad en la toma de decisiones: al establecer esquemas para el futuro, la planificación funciona como un medio orientador del proceso decisorio.
- La planificación constituye un curso de acción escogido entre varias alternativas de caminos potenciales.

² **George R. Terry:** Northwestern University, 16th President, 1961 CE, University of Cincinnati MBA, PhD, Northwestern University

³ Es graduado en Filosofía / Pedagogía, con especialización en Psicología Educacional por la USP, en Derecho por la Universidad Mackenzie y postgraduado en Administración de Empresas por la EAESP-FGV. Es maestro (MBA) y Doctor (Ph.D.) en Administración por la City University de Los Ángeles, California, Estados Unidos.

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

- La planificación es sistemática: esta debe tener en cuenta el sistema y subsistemas que lo conforman; debe abarcar la organización como totalidad.

1.3.2 Patrón del proceso de planificación

El proceso de planeación incluye cinco pasos principales:

1. Definición de los objetivos organizacionales.
2. Determinar donde se está en relación a los objetivos.
3. Desarrollar premisas considerando situaciones futuras.
4. Identificar y escoger entre cursos alternativos de acción.
5. Puesta en marcha de los planes y evaluar los resultados(Cortés, H, 1998).

1.4 Sistema de Planificación de Actividades (SIPAC)

SIPAC fue desarrollado por la Universidad de las Ciencias Informáticas y es certificado por el Grupo de Planificación de Actividades de la Secretaría del Consejo de Ministros de la República de Cuba, la cual se guía por la Instrucción No.1 del Presidente de los Consejos de Estado y de Ministros. Tiene como objetivo informatizar y homogeneizar el proceso de planificación de objetivos y actividades a corto, mediano y largo plazo que se realiza en todos los niveles de dirección del país, está basado en los principios de independencia tecnológica del país.

Mediante las funcionalidades que tiene implementadas el sistema permite:

- Interrelacionar los objetivos de trabajo y actividades en tiempo real, esto garantiza el seguimiento y cumplimiento de los objetivos y actividades en las entidades.
- Puntualizar las actividades a realizar por cada usuario, como parte de la planificación a corto plazo, posibilitando una mayor coincidencia entre lo que la dirección aspira y lo que debe proponerse cada integrante de la organización.
- La gestión de los posibles involucrados que dirigen o ejecutan el proceso de planificación de objetivos y actividades.
- Compartimentar la información mediante la gestión de los permisos entre los diferentes niveles involucrados en la planificación y la gestión de los principales nomencladores.
- Generar reportes como el plan de actividades anual, el plan de actividades mensual, plan de trabajo individual, puntualizaciones del plan mensual y el resumen de cumplimiento del plan de trabajo según lo establecido en la Instrucción No.1.

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

- La informatizar de los procesos de Elaboración del plan, Aprobación-conciliación, Puntualización del plan, Ejecución y control del plan y Evaluación de los objetivos (CEIGE, 2015).

1.4.1 Análisis de SIPAC

Aunque SIPAC, como producto, ya cuenta con lo necesario desarrollado para la gestión automatizada de los procesos que define la Instrucción No. 1, una solución que identifique cuellos de botella sería recomendable como valor agregado. La misma respondería necesidades que quedaron evidenciadas en la problemática descrita anteriormente.

En la siguiente tabla se muestran algunas preguntas que SIPAC actualmente no cuenta con una estrategia para responderlas.

Tabla 1: Preguntas que SIPAC no responde completamente
Fuente: (Elaboración propia)

Procesos	Funcionalidades	Objetivos
Elaboración del plan	Porcentaje de actividades incorporadas al PAA antes del mes de diciembre del año anterior.	¿Cuándo se incorporan las actividades al plan y cuándo se deberían hacer?
Aprobación-conciliación del plan	Porcentaje de PAA enviados a aprobación antes del 25 de diciembre del año anterior.	¿Cuándo se realizan los cambios de estados y cuándo se deberían hacer?
Puntualización del plan	Porcentaje que representan las actividades incorporadas como puntualización al plan del total de actividades.	¿En qué momento se incorporan las puntualizaciones y en qué momento se deberían incorporar?
Ejecución y control del plan	Porcentaje de actividades en que los involucrados actualizan su porcentaje de cumplimiento del total de actividades.	¿Ocurrencia y frecuencia con la que se ejecuta el proceso de Ejecución y control del plan?
Evaluación de los objetivos	Porcentaje de objetivos que tienen definidos sus criterios de evaluación del total de objetivos.	Ocurrencia y frecuencia del proceso de Evaluación de los objetivos.

1.5 Minería de procesos

Las técnicas de minería de procesos son capaces de extraer conocimiento de los registros de eventos comúnmente disponibles en los actuales sistemas de información. Estas técnicas proveen nuevos medios para descubrir, monitorear y mejorar los procesos en una variedad de dominios de aplicación (Van der Aalst W. M. P., 2011a).

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

Existen tres tipos de minería de procesos: el descubrimiento, chequeo de conformidad y el mejoramiento. En el proceso de descubrimiento se produce un modelo de proceso a partir de un registro de eventos. En el chequeo de conformidad se compara un modelo de proceso ya existente con un registro de eventos del mismo proceso, este tipo de minería puede ser usado para asegurar que la realidad sea equivalente al modelo de la misma forma en que está almacenada en el registro de eventos y viceversa. En el mejoramiento, el objetivo es extender o mejorar un modelo de proceso existente usando la información del proceso real almacenada en algún registro de eventos.

1.5.1 Perspectivas de la minería de procesos

La minería de procesos pretende cubrir las siguientes perspectivas:

- **Perspectiva de control de flujo:** Se basa en el control del orden de ejecución de las actividades. El objetivo es encontrar una buena caracterización de todos los caminos posibles.
- **Perspectiva de casos:** Se enfoca en las propiedades de los casos (caracterización por rutas, actores u otros elementos).
- **Perspectiva organizacional:** El objetivo es estructurar la organización al clasificar a las personas en términos de las funciones y roles, así como mostrar la relación entre los distintos usuarios (construir una red social).
- **Perspectiva de tiempo:** Se relaciona con la ocurrencia y la frecuencia de los eventos. Posibilita descubrir cuellos de botella, medir niveles de servicio, monitorear la utilización de recursos y predecir el tiempo restante de los casos en ejecución (IEEE Task Force on Process Mining, 2011).

La perspectiva de tiempo permite analizar el cumplimiento de los plazos establecidos por la Instrucción No. 1. Por otra parte, con la perspectiva de control de flujo se puede determinar si se realiza el proceso como está definido en la Instrucción No.1 o se viola en algún momento con la ocurrencia de actividades no previstas para estos procesos.

1.6 Estudio del estado del arte de tecnologías y herramientas

Durante la investigación se identificaron un conjunto de herramientas en el ámbito internacional que permiten llevar a cabo análisis de procesos aplicando técnicas de minería de procesos. Luego de un exhaustivo análisis, no se identificaron en Cuba herramientas enfocadas al uso de esta tecnología. A continuación, se realiza un análisis

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

de las principales herramientas teniendo en cuenta la disponibilidad de las mismas en el país. Existen varios tipos de herramientas como son las académicas y las comerciales.

1.6.1 Herramientas académicas

Disco

Desarrollada por *Fluxicon*⁴ en el 2009, es una herramienta privativa que posee una licencia gratuita limitada a fines académicos y su objetivo principal es el de apoyar a las organizaciones en el control de sus procesos y simplificar el trabajo, es ideal para tratar con grandes registros de eventos y hace fácil la conversión y filtrado de modelos complejos. Se basa en la técnica de minería difusa, aunque se han podido desarrollar otras técnicas. El resultado que se obtiene es fiable y de confianza para un conjunto de datos de complejidad arbitraria, además que puede ser eficientemente operado y entendido por los expertos del dominio sin experiencia previa a la minería de procesos (van der Aalst, W.M.P., Pesic, M. and Song, 2010).

ProM

Es una herramienta académica de código abierto para la minería de procesos. Requiere experiencia en minería de procesos ya que no está enfocada a la usabilidad y no está respaldada por una organización comercial por tanto tiene las ventajas y desventajas comunes para el software de código abierto. Permite el proceso de descubrimiento, la comprobación de la conformidad, análisis de redes sociales, la minería de organización (Van der Aalst W. M. P., 2011b). Es el *software* que concentra la mayor cantidad de técnicas que existen en minería de procesos. El marco de trabajo ProM es propicio para el desarrollo y ejecución de nuevos algoritmos por parte de la comunidad de desarrolladores (Ailenei, 2011).

1.6.2 Herramientas comerciales

ARIS Process Performance Manager (ARIS PPM)

Se entiende por Administrador de Funcionamiento de Procesos ARIS. Es una herramienta privativa que permite a las organizaciones observar y analizar el funcionamiento y estructura de sus procesos de negocio. ARIS PPM extrae información

⁴ Fundada en 2009 por Anne Rozinat y Christian W. Günther, Fluxicon ha estado en la vanguardia del movimiento minero de proceso desde entonces.

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

en tiempo de ejecución de los sistemas de origen útiles, flujos de trabajo o sistemas heredados. Ayuda a las organizaciones a acceder a sus procesos de negocio en términos de velocidad, costo, cantidad, calidad y oportunidades. ARIS PPM guía la continua optimización de los flujos de trabajo internos y externos, haciendo una contribución clave al éxito en los negocios (Singh y Agarwal, 2014).

QPR ProcessAnalyzer (QPRPA)

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

Tabla 2: Características de productos de software, facilitar la toma de decisión
Fuente: (Elaboración propia)

Herramientas/ Características	Licencia	Genérico	Comercial
Disco	Propietario, posee una licencia gratuita limitada a fines académicos	Si	No
ProM	Libre, distribuido en partes, Licencia GPL, Paquetes de ProM bajo licencia L-GPL	Si	No
ARIS PPM	Propietario	No	Si
QPR PA	Propietario	No	Si

Luego de haber analizado cada herramienta y sus características se arriba a la siguiente conclusión:

Las herramientas comerciales se han desarrollado bajo licencias privativas y específicamente para un ambiente empresarial e industrial. Condición que limita al país, para las adquisiciones de los mismos, así como para poder agregarle mejoras futuras, o para adaptarlo a sus necesidades; debido a las restricciones del código fuente y al alto coste en las licencias. Ejemplo de ello son ARIS *Process Performance Manager* y QPR *Process-Analyzer*.

Por su parte Disco ofrece algunas mejoras con respecto a las mencionadas anteriormente como por ejemplo el tener una licencia libre para fines académicos. Lo que tampoco permite conocer el funcionamiento a nivel estructural de sus aplicaciones,

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

ni efectuarles modificaciones a dichas funcionalidades. ProM a diferencia del resto de las aplicaciones estudiadas ofrece muchas más posibilidades ya que cuenta con un marco de trabajo de código abierto. Soporta más de 600 técnicas de minería de procesos. Sus paquetes de trabajo pueden ser extraídos y modificados para usarse en otro marco de trabajo. Es por ello que la investigación se basa en las técnicas ejecutadas en el marco de trabajo ProM para la identificación de posibles cuellos de botella.

1.7 Técnicas de minería de procesos para detección de cuellos de botella en el marco de trabajo ProM

Las técnicas de minería de procesos pueden ser utilizadas para el análisis de procesos en general, permiten realizar minería de redes sociales, análisis de rendimiento, conformidad y detectar cuellos de botella. En este epígrafe se hace un análisis de las técnicas que permiten detectar cuellos de botella, a partir de las informaciones, indicadores y datos que brindan.

Fuzzy Performance Diagrams

Fuzzy Performance Diagrams (FPD) o Diagrama Difuso de Rendimiento es una técnica de Minería de procesos desarrollada por los holandeses Arya Adriansyah y Boudewijn van Dongen, permite la visualización de un Diagrama de Precedencia Simple (SPD, por sus siglas en inglés) y el entendimiento de los cuellos de botella de un proceso. En esta técnica la información es proyectada en cada nodo y arista del SPD, donde el modelo difuso (Günther y van der Aalst, 2007) y las Red de Petri extendidas tienen una gran influencia en la forma en que esta proyección es realizada (VanDongen y Adriansyah, 2009).

Esta técnica requiere como entrada un registro de eventos y un SPD para crear automáticamente mediante la “minería del modelo SPD” una conexión entre estos. Un conjunto de indicadores claves de rendimiento pertenecientes a cada uno de los nodos en una FPD permiten realizar análisis referentes a los tiempos de espera, tiempos de sincronización y tiempos de procesamiento.



Figura 2: Representación de la técnica FPD
Fuente: Resultados de la ejecución del algoritmo en ProM 6.4

El uso de esta técnica está condicionado al entendimiento de los diagramas difusos de rendimiento, los cuales pueden ser complejos, a diferencia de las Red de Petri inspiradas en la representación de procesos BPMN (Larrea, Pérez y García, 2015).

Inductive visual Miner

Inductive visual Miner (IvM) es un *plugin* de la herramienta ProM, que utiliza los registros de eventos para generar modelos de procesos en una notación inspirada en la BPMN, esto hace más fácil el entendimiento de los mismos por parte de los usuarios ajenos a la minería de procesos. Con estos modelos se pueden apreciar los cuellos de botella y las desviaciones de los procesos que se modelan, además de las actividades frecuentes e infrecuentes que los componen. IvM permite visualizar cuáles son las actividades con menor y mayor frecuencia de ejecución. Además, es un algoritmo cuyo funcionamiento se comporta con un carácter robusto ante el ruido⁵, y tiene en cuenta la falta de información que pueda presentar el registro de eventos (Leemans et al., 2014).

⁵ 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).

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

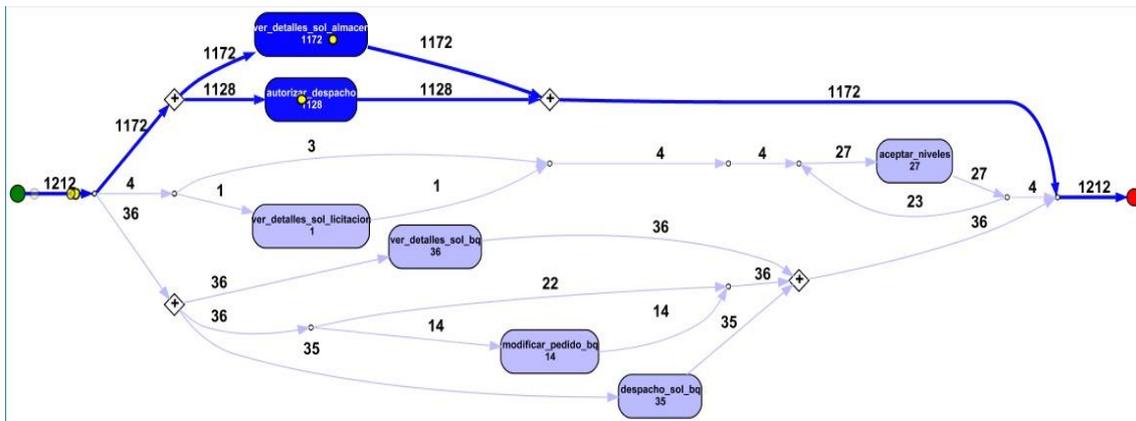


Figura 3: Representación de la técnica IvM
Fuente: Resultados del de la ejecución del algoritmo en ProM 6.4

Explícitamente no es posible observar los cuellos de botella, estos pueden ser inferidos solamente a partir de la animación de trazas que realiza la técnica, la cual puede ser rápida e inentendible en ocasiones para usuarios no expertos en minería de procesos. Aunque se basa en la representación de un modelo BPMN y puede ser utilizada para la identificación de cuellos de botella, esta técnica no está enfocada principalmente a este tipo de análisis, su objetivo es la detección de desviaciones a partir de la frecuencia de ejecución.

Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance

Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance (Replay P/C) es una técnica de chequeo de conformidad que posibilita identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos. Está directamente relacionada con el análisis temporal, mediante una escala de colores intuitiva, clasifica las actividades por colores según su desviación con respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones (tiempo promedio que demora una actividad en ser ejecutada).

Entre las características que definen a esta técnica se encuentran:

- Detectar problemas.
- Extraer información de tiempo.
- Detectar cuellos de botella.
- Realizar diagnósticos, predicciones y recomendaciones.
- Generar modelo integrado mostrando los tiempos de ejecución, estadías y esperas.

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

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

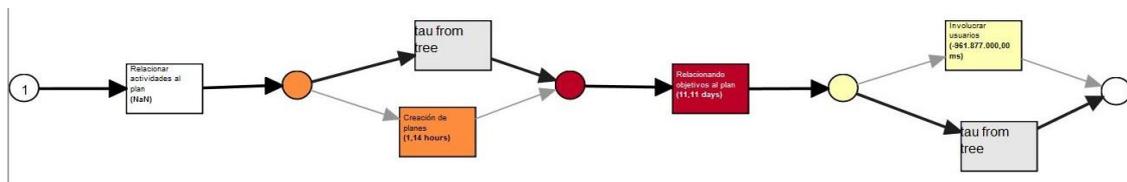


Figura 4: Representación de la técnica “Replay P/C”.
Fuente: Resultados de la ejecución de la técnica en ProM 6.4

La técnica *Replay P/C* permite analizar el flujo de información y su comportamiento en el tiempo, establece que mientras más oscura y gruesa sea la transición, mayor cantidad de veces se han ejecutado las actividades que representan el flujo. Esta representación permite en algunos casos definir a simple vista cuál es el flujo de actividades que más se ejecuta en el proceso del sistema bajo análisis y cuáles actividades son las más críticas y cuáles funcionan correctamente. Se define como actividad crítica aquella que sobrepasa el tiempo estimado de respuesta entre una actividad y otra (García, Corales y Cabrera, 2015).

Tabla 3: Comparación entre las técnicas para la toma de decisión.
Fuente: (Elaboración propia).

Técnicas	Tipo de representación	Detecta cuellos de botella	Representación explícita de los cuellos de botella	Representación visual de los cuellos de botella
FPD	SPD	SI	NO	NO
IVM	BPMN	SI	NO	NO
Replay/PC	Petri Net	SI	SI	SI

Luego de un análisis documental realizado y dado que responde a las necesidades del problema en cuestión, se propone la integración de la técnica “*Replay P/C*” al sistema SIPAC, debido a su capacidad para identificar de forma explícita los cuellos de botella.

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

Además, propicia los análisis de desempeño y conformidad sobre los procesos que se ejecutan en sistemas de información.

1.8 Ambiente de desarrollo

En el presente epígrafe se muestran las tecnologías y herramientas a utilizar para materializar en un producto de *software*. Las mismas son utilizadas teniendo en cuenta las restricciones tecnológicas y para estar en consonancia con las políticas de desarrollo del centro y así cumplir con el objetivo general de la investigación.

Lenguaje de programación: Java v.8.0

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

Java Runtime Environment v.8

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

ProM v.6.4

ProM es un marco extensible que es compatible con una amplia variedad de técnicas de minería de procesos en forma de *plugins*, de *software* libre y multiplataforma. Es

CAPÍTULO 1: “FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN”

independiente de la plataforma por ser implementado en *Java* y puede ser descargado sin ningún costo. Está publicado bajo una licencia de código abierto (Aalst, 2011); (Verbeek y H.M.W., 2010). Es utilizado en la investigación para validar la solución propuesta.

Entorno Integrado de Desarrollo NetBeans v.8.2

Un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE, por sus siglas en inglés) es un entorno de programación que ha sido empaquetado como un programa de aplicación, es decir, consiste en un editor de código, un compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica (GUI). Los *IDEs* pueden ser aplicaciones por sí solas o pueden ser parte de aplicaciones existentes. Proveen un marco de trabajo amigable para la mayoría de los lenguajes de programación.

NetBeans es un proyecto de código abierto de gran éxito con una gran base de usuarios, una comunidad en constante crecimiento, y con cerca de 100 socios en todo el mundo.

1.9 Conclusiones

Durante el capítulo, se evidenció que los usuarios de SIPAC necesitan una herramienta que le permita analizar todos los procesos con el objetivo de detectar la ocurrencia de cuellos de botella durante la ejecución de los mismos. Para ello se analizan diversas herramientas que permiten realizar técnicas de minería de procesos. Entre esas herramientas se escoge ProM, por lo planteado anteriormente, y dentro de su marco de trabajo se analizan varias técnicas para la detección de cuellos de botella. Entre las técnicas analizadas se selecciona “Replay P/C” para personalizarla y enfocarla a las necesidades de SIPAC; esta permite mostrar de forma intuitiva la presencia de cuellos de botella. Se determinó el entorno de desarrollo a utilizar durante el proceso de personalización de la técnica.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

2.1 Introducción

El presente capítulo describe el procedimiento y los elementos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de la integración, mediante datos, de la técnica “*Replay P/C*” a la Herramienta para Minería de Procesos de SIPAC, como una vista de análisis para la identificación de cuellos de botella en la ejecución de los procesos.

2.2 Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance

Replay a log on Petri Net for Performance/Conformance (Replay P/C) es una técnica de chequeo de conformidad que posibilita identificar las desviaciones en el tiempo de cumplimiento de los diferentes procesos. Está directamente relacionada con el análisis temporal y mediante una escala de colores intuitiva, clasifica las actividades por colores según su desviación con respecto al tiempo medio de estancia de las transiciones.

Esta técnica permite:

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

2.2.1 Entradas de la técnica Replay P/C

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

Algoritmos para general una red de petri

Dado que la técnica “*Replay P/C*” tiene como entrada una Red de Petri, es necesario contar con una herramienta que permita generarla. Existen varias alternativas para generar una Red de Petri. A continuación, se realiza un análisis de un grupo de algoritmos utilizados para generar una Red de Petri desde ProM a partir de un registro de eventos. Estos algoritmos han sido utilizados en investigaciones identificadas en la literatura consultada, donde se utiliza “*Replay P/C*” para detectar cuellos de botella.

Alpha Algorithm (α)

Este algoritmo es utilizado por la técnica *Mine for a Petri Net using Alpha-algorithm* en la reconstrucción de la causalidad en un conjunto de secuencias de evento (VAN DER AALST, 2003). Es capaz de extraer automáticamente una Red de Petri que modela de forma concisa el comportamiento reflejado en el registro de eventos (Herrera, 2013). Ejemplo Figura 5.

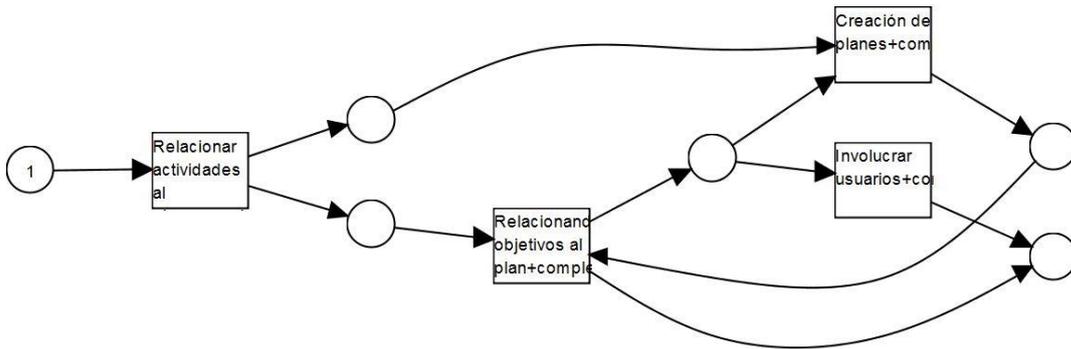


Figura 5: Visualización “Alpha Algorithm (α)”.
Fuente: Resultados de la ejecución del algoritmo en ProM 6.4.

Durante el procesamiento posterior, el modelo obtenido (Red de Petri) puede ser mejorado, lo que posibilita construir una representación gráfica. Una declaración del algoritmo puede reconocerse de la siguiente manera (Medeiros et al., 2004):

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

$$T_w = \{t \in T \mid \exists \theta \in W, t \in \theta\}, \quad (I)$$

$$T_i = \{t \in T \mid \exists \theta \in W, t = first(\theta)\}, \quad (II)$$

$$T_o = \{t \in T \mid \exists \theta \in W, t = last(\theta)\}, \quad (III)$$

Donde T_w es el conjunto de todas las tareas que se producen en al menos una traza, T_i es el conjunto de todas las tareas que se producen al inicio de la traza, y T_o es el conjunto de todas las tareas que se producen al final de la traza.

$$X_w = \{(A, B) \mid A \subseteq T_w \wedge B \subseteq T_w \wedge \forall a \in A \forall b \in B a \rightarrow wb \wedge \forall a_1, a_2 \in A a_1 \# w a_2 \wedge \forall b_1, b_2 \in B b_1 \# w b_2\}, \quad (IV)$$

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

$$Y_w = \{(A, B) \in X_w \mid \forall_{(A', B') \in X_w} A \subseteq A' \wedge B \subseteq B' \Rightarrow (A, B) = (A', B')\}, \quad (V)$$

$$P_w = \{p_{(A,B)} \mid (A,B) \in Y_w\} \cup \{i_w, o_w\}, \quad (VI)$$

$$F_w = \{(a, p_{(A,B)}) \mid (A,B) \in Y_w \wedge a \in A\} \cup \{(p_{(A,B)}, b) \mid (A,B) \in Y_w \wedge b \in B\} \cup \{(i_w, t) \mid t \in T_1\} \cup \{(t, o_w) \mid t \in T_o\}, \quad (VII)$$

Obteniéndose como resultado:

$$\alpha(W) = (P_w, T_w, F_w) \quad (VIII)$$

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

Integer Linear Programming Algorithm (ILP)

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 Red de Petri. En este algoritmo los estados son generados en un orden que asegura que los más expresivos sean encontrados primero, solo son añadidos los que poseen menor cantidad de *tokens*, menos arcos salientes o más arcos entrantes. Además, cada solución mejorada de una ILP es también una solución de la ILP original, debido a que la nueva solución satisface todas las limitaciones de la formulación inicial ILP, y algunas restricciones adicionales. Por lo tanto, todos los estados construidos utilizando este procedimiento son estados factibles (Aalst y Dongen, 2013).

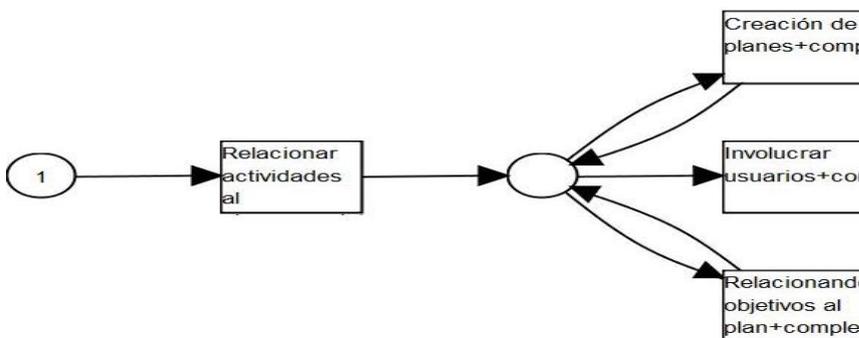


Figura 6: Visualización “*Integer Linear Programming*”.
Fuente: Resultados del de la ejecución del algoritmo en ProM 6.4.

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

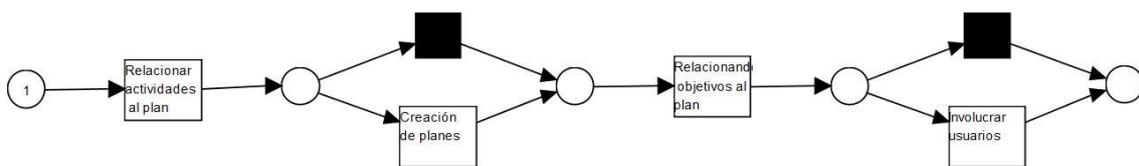


Figura 7: Visualización “Inductive Miner Algorithm”.
Fuente: Resultados del de la ejecución del algoritmo en ProM 6.4.

Las frecuencias de cada una de las trazas y los eventos son ignoradas 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 cómo de forma distintiva el comportamiento frecuente y poco frecuente puede ser utilizado para mejorar el descubrimiento del modelo en un ochenta por ciento.

Para definir la capacidad ante determinados eventos de los algoritmos anteriores es necesario definir los siguientes criterios:

- 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.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

- 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 8: Equilibrio de las cuatro dimensiones de la calidad.
Fuente: (León y Dávila 2016).

Cuando un modelo posee buena aptitud es capaz de reproducir la mayoría de los rastros en el registro de eventos. La precisión está relacionada con la noción de *underfitting*⁶ presentada en el contexto de la minería de datos; un modelo con estas características permite un comportamiento que es muy diferente de lo que se muestra en el registro de eventos, o sea tiene mala precisión. La generalización se relaciona con la noción de sobreajuste u *overfitting*⁷. Esto quiere decir que no generaliza lo suficiente, por lo que es considerado demasiado específico e impulsado por ejemplos en el registro de eventos. La sencillez establece que "no se debe aumentar, más allá de lo necesario, el número de entidades requeridas para explicar algo".

Es recomendable encontrar el "modelo de proceso más simple" que pueda explicar lo que se observa en el registro de eventos, sin embargo, equilibrar los cuatro criterios de calidad constituye un desafío. 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* (Aalst, 2011).

⁶ Underfitting ocurre cuando un modelo estadístico o un algoritmo de aprendizaje automático no es capaz de capturar la tendencia subyacente de los datos. Intuitivamente, underfitting ocurre cuando el modelo o el algoritmo no ajusta los datos suficientemente bien.

⁷ Overfitting ocurre cuando un modelo estadístico o un algoritmo de aprendizaje automático captura el ruido en los datos. Intuitivamente overfitting ocurre cuando el modelo o el algoritmo ajusta los datos demasiado bien.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

Para la selección de un modelo adecuado se establece que aptitud y sencillez son características necesarias, pero no suficientes, ya que el modelo resultante podría ser simple y con perfecta aptitud, sin embargo, no contiene ningún conocimiento de las actividades, basándose solamente en la ocurrencia de las mismas.

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 8, apoyado en datos de la ejecución de los algoritmos calculados mediante fórmulas matemáticas que se muestran a continuación, a partir de registros de eventos reales y los resultados representados en la tabla 4 (Buijs, Dongen y Aalst, 2012); (Aalst y Dongen, 2013):

Aptitud:

$$Qrf = 1 - \left(\frac{\text{costo de alinear el modelo y el registro de eventos}}{\text{costo mínimo de alinear un registro de eventos arbitrario y vice versa}} \right)$$

Precisión:

$$Qp = 1 - \left(\frac{\sum \text{marcas visitadas} * \# \text{visitas} \left(\frac{\# \text{bordes salientes} - \# \text{bordes usados}}{\# \text{bordes salientes}} \right)}{\# \text{total de visitas a las marcas sobre todas las marcas}} \right)$$

Generalización:

$$Qg = 1 - \left(\frac{\sum \text{nodos} * (\sqrt{\# \text{ejecuciones}})^{-1}}{\# \text{nodos en el árbol}} \right)$$

Simplicidad:

$$Qs = 1 - \left(\frac{\# \text{actividades duplicadas} + \# \text{actividades faltantes}}{\# \text{nodos en el árbol de procesos} + \# \text{clases de eventos en el registro de eventos}} \right)$$

Tabla 4: Comparación de equilibrio de las técnicas seleccionadas sobre las dimensiones de calidad.

Fuente: (Elaboración propia).

	Aptitud	Precisión	Generalización	Simplicidad
Alpha	0,99	0,62	0,87	0,94
ILP	1	0,63	0,83	0,89
IMA	0,94	0,8	0,86	0,9

Algoritmos de descubrimiento como Alpha 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, Fahland

y Aalst, 2013). El algoritmo *Inductive Miner-infrequent* es seleccionado por obtener un mayor equilibrio en los aspectos definidos. Los algoritmos descritos previamente fueron aplicados a registros de eventos sintéticos que se generan de procesos reales en pruebas realizadas por un conjunto de investigadores liderados por van der Aalst, precursor de la minería de procesos (Van der Aalst W. M. P., 2011); (León y Dávila, 2016).

2.2.2 Dependencias funcionales

Las librerías incluidas en el paquete para instanciar la técnica “Replay P/C” son:

- Axis.jar
- Bsh-2.0b4.jar
- Collections-generic-4.01.jar
- Colt.jar
- Commons-compress-1.0.jar
- FilterableSortableTablePanel.jar
- Flanagan.jar
- Jargs.jar
- Jcommon-1.0.16.jar
- Jlfgr-1_0.jar
- Jung-algorithms-2.0.jar
- Jung-api-2.0.jarjung-graph-impl-2.0.jar
- Jung-io-2.0.jar
- Jung-visualization-2.0.jar
- Slickerbox1.0rc1.jar
- Spex.jar
- TableLayout-20050920.jar
- Weka.jar
- Xpp3-1.1.4c.jar
- Xstream-1.3.1.jar
- Log.jar
- LogDialog.jar
- Jcalendar.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
- Trove-3.0.3.jar
- ProM-Contexts.jar
- ProM-Framework.jar
- ProM-Models.jar
- BasicUtils.jar
- PetriNets.jar
- EfficientStorage.jar
- Jbpt-0.2.429.jar
- OpenXES-XStream.jar
- OpenXES.jar
- ProM-Plugins.jar
- UITopiaResources.jar
- Ipsolve55j.jar
- Uitopia.jar
- Javailp-1.2a.jar

2.2.3 Algoritmo utilizado por la técnica

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

algoritmo A* está garantizado para encontrar un camino con la menor distancia (Dechter y Pearl, 1985).

2.2.4 Estadísticas y filtros

Estadísticas

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

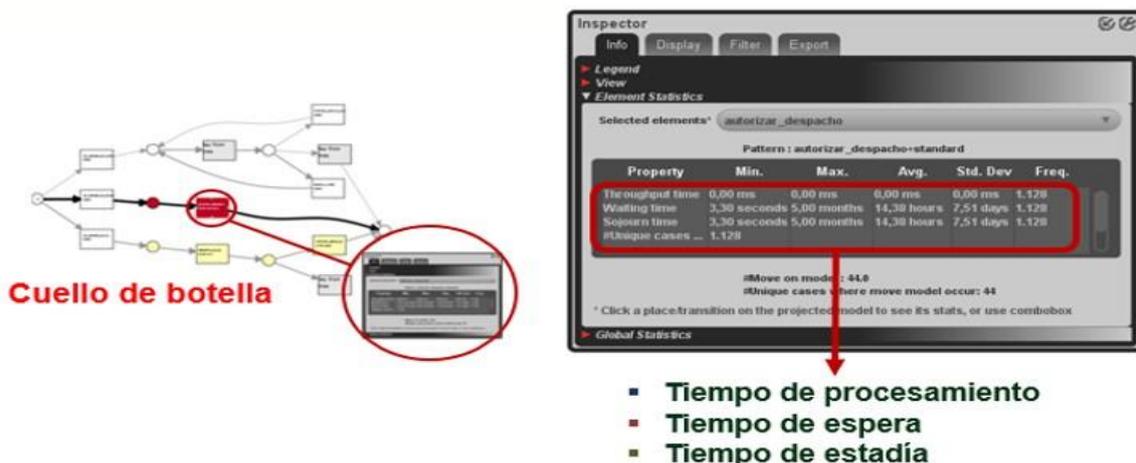


Figura 9: Vista del panel de estadísticas.
Fuente: (León y Dávila 2016).

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

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

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

Filtros

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

2.2.5 Salidas

La técnica tiene dos vistas por defecto:

Projects Alignments to Log

La vista “*Projects Alignments to Log*” muestra todas las alineaciones entre el registro de eventos y la red (Figura 12).



Figura 10: Vista estándar “*Projects Alignments to Log*”.
Fuente: (Resultado del ProM v.6.4).

Performance Projection to Model

Esta visualización por defecto, utiliza el atributo de evento “*time:timestamp*”, que indica fecha y hora, para proyectar información de rendimiento en el modelo original mediante un esquema de colores sin fisura desde blanco hasta rojo vino. Por defecto, el color de transición representa el tiempo medio de espera en transiciones, el color del lugar el tiempo promedio de espera en los lugares, y el espesor del arco la frecuencia de los *tokens* que pasan. Este esquema de colores puede ser modificado y permite, además, separar rápidamente casos finalizados de casos que requieren mucho tiempo para completarse.

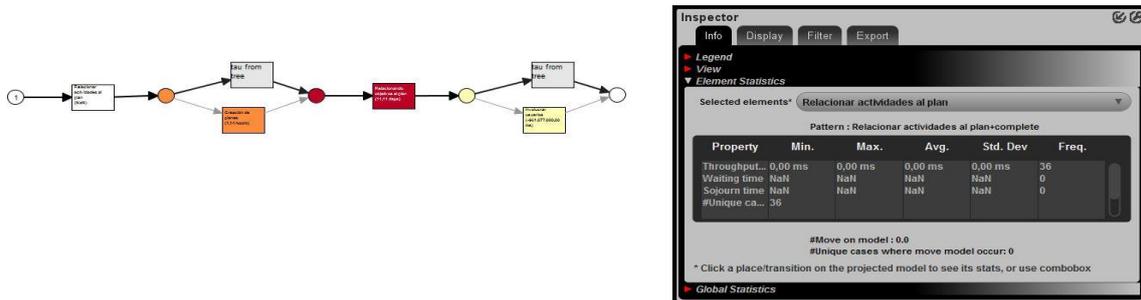


Figura 11: Vista por defecto “Performance Projection to Model”.
 Fuente: (Resultado del ProM v.6.4).

A continuación, se realiza una descripción de otras visualizaciones para realizar análisis de chequeo de rendimiento y conformidad obtenidas luego de aplicar la técnica “Replay P/C”.

Project Manifest to Model for Conformance

Esta visualización muestra en el modelo original, cuáles tareas son omitidas con frecuencia, y cuándo las actividades extra que deberían realizarse acorde al modelo se llevan a cabo realmente. Esta vista es usada para tener una idea de la localización de las desviaciones, separar casos desviados severamente de los no desviados y analizar desviaciones que co-ocurren juntas.

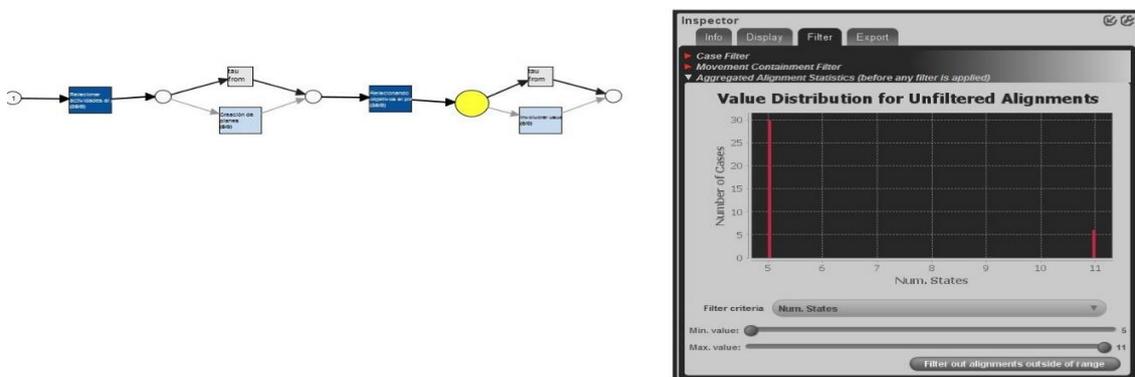


Figura 12: Visualización “Project Manifest to Model for Conformance”.
 Fuente: (Adriansyah 2012).

Trace Alignment of Manifests

Esta visualización usa la técnica de alineación de trazas para obtener una vista general del contexto en el cual las desviaciones ocurren.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

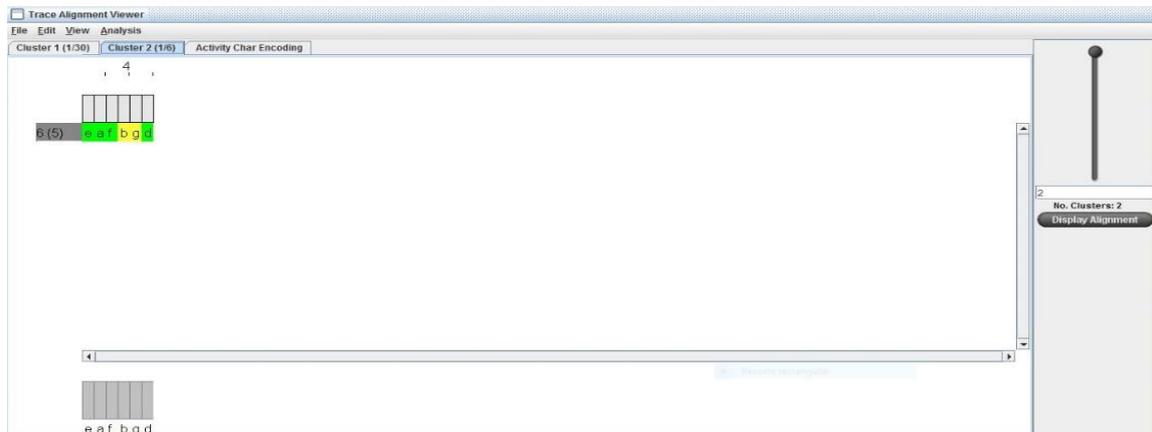


Figura 13: Visualización “*Trace Alignment of Manifests*”.
Fuente: (Adriansyah 2012).

XFrequent Movement Sets Mining for Deviation Analysis

Esta visualización utiliza la librería de Weka de minería de datos para minar desviaciones de todas las alineaciones que ocurren con frecuencia. Con esta visualización uno de los análisis que se pueden obtener es: “Si la tarea A es omitida, la tarea B también será omitida”, o “Si la clase de evento C ocurre (aunque de acuerdo al modelo no debería), la tarea D se omite”.

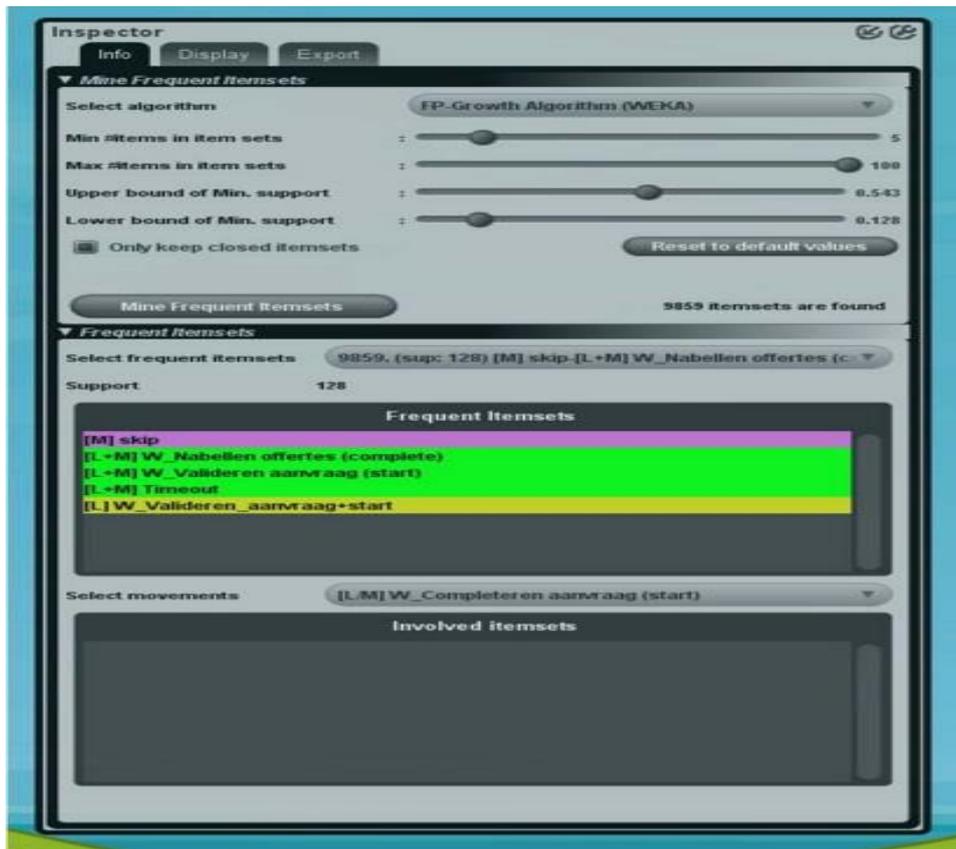


Figura 14: Visualización “xFrequent Movement Sets Mining for Deviation Analysis”.
Fuente: (Adriansyah 2012).

Synchronous Transitions Analysis

Esta visualización es útil para identificar tiempo transcurrido entre tareas y tareas que son sincronizadas por lotes. Dada una colección de alineaciones, esta visualización toma solo las primeras ocurrencias de todas las tareas (solo sus movimientos sincronizados) en cada alineación, y mide el tiempo entre el momento en que ocurre una tarea y el momento en que ocurren otras. El color de las celdas indica el valor de la medición de tiempo comparada con otra, donde el verde se traduce en valor bajo y el rojo en valor alto.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

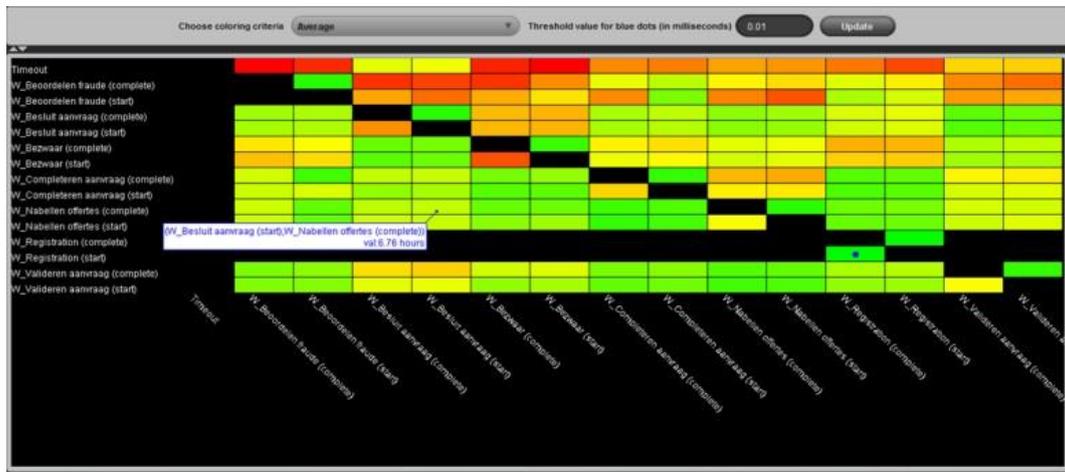


Figura 15: Visualización “Synchronous Transitions Analysis”.
Fuente: (Adriansyah 2012).

Luego de estudiar las visualizaciones que ofrece la técnica “Replay P/C” en el marco de trabajo ProM, se escoge la visualización estándar “Performance projection to model” como la más indicada para identificar cuellos de botella, ya que de todas es la especializada en mostrar los cuellos de botella, mientras el resto muestra otro tipo de información, de esta forma posibilita realizar análisis de rendimiento de procesos mediante la representación de una Red de Petri basada en un modelo BPMN y un conjunto de indicadores de desempeño.

2.3 Descripción de la propuesta de solución

Con el desarrollo de “Replay P/C” se identificaron cuellos de botellas en la ejecución de los procesos en SIPAC y permitió conocer las causas de los mismos. Para lograr este objetivo primeramente se mostró un diagrama en Red de Petri de la instancia de proceso seleccionado como está definido en la técnica original. A partir de este punto se le incluyó: leyenda, selección de las visualizaciones con respecto al tiempo, representación explícita de los cuellos de botella. Con todo esto se mejora a la técnica original en: usabilidad, entendimiento.

2.3.1 Modelo conceptual de la herramienta

SIPAC posee un Componente para la Extracción y Transformación de Trazas. Este es el encargado de extraer de la base de datos toda la información referente a los procesos y generar un registro de eventos. Este registro de eventos constituye el punto de inicio o la entrada principal para la Herramienta para Detectar Cuellos de Botella. En esta herramienta es donde se escoge ese registro de eventos y se analiza por las técnicas

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

para detectar cuellos de botella. Como resultado del mismo se generan Diagramas de Procesos.

En la siguiente figura se muestra el modelo conceptual de la Herramienta para la Detección de Cuellos de Botella en SIPAC.

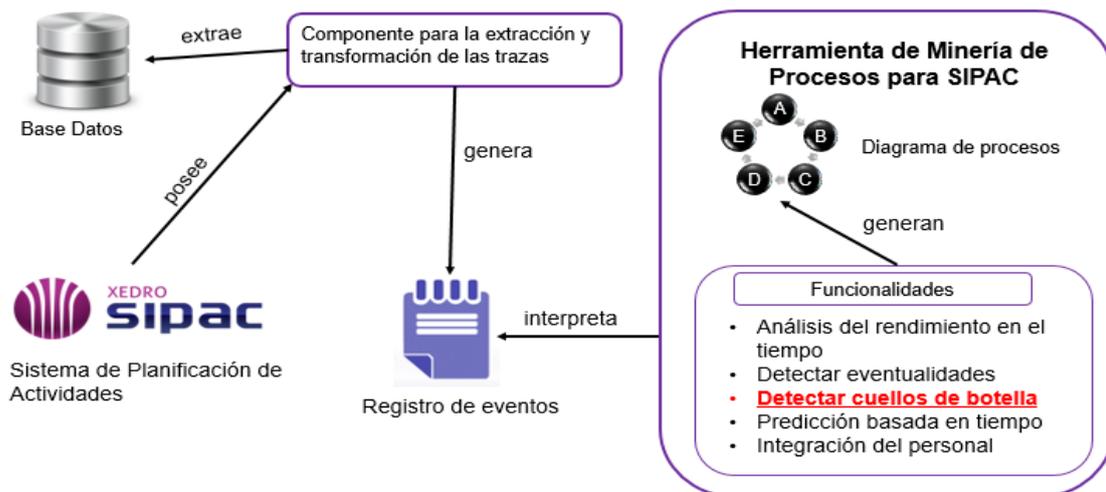


Figura 16: Diagrama de la herramienta para detectar cuellos de botella
Fuente: (Elaboración propia).

2.3.2 Arquitectura de desarrollo

Una arquitectura basada en componentes describe una aproximación de ingeniería de software al diseño y desarrollo de un sistema. Esta arquitectura se enfoca en la descomposición del diseño en componentes funcionales o lógicos que expongan interfaces de comunicación bien definidas. Esto provee un nivel de abstracción mayor que los principios de orientación por objetos y no se enfoca en asuntos específicos de los objetos como los protocolos de comunicación y la forma como se comparte el estado (Reynoso, 2004).

El estilo de arquitectura basado en componentes tiene las siguientes características:

- Es un estilo de diseño para aplicaciones compuestas de componentes individuales.
- Pone énfasis en la descomposición del sistema en componentes lógicos o funcionales que tienen interfaces bien definidas.
- Define una aproximación de diseño que usa componentes discretos, los que se comunican a través de interfaces que contienen métodos, eventos y propiedades.

Principios fundamentales

Un componente es un objeto de software específicamente diseñado para cumplir con cierto propósito. Los principios fundamentales cuando se diseña un componente es que estos deben ser:

- **Reusable.** Los componentes son usualmente diseñados para ser utilizados en escenarios diferentes por diferentes aplicaciones, sin embargo, algunos componentes pueden ser diseñados para tareas específicas.
- **Sin contexto específico.** Los componentes son diseñados para operar en diferentes ambientes y contextos. Información específica como el estado de los datos deben ser pasadas al componente en vez de incluirlos o permitir al componente acceder a ellos.
- **Extensible.** Un componente puede ser extendido desde un componente existente para crear un nuevo comportamiento.
- **Encapsulado.** Los componentes exponen interfaces que permiten al programa usar su funcionalidad. Sin revelar detalles internos, detalles del proceso o estado.
- **Independiente.** Los componentes están diseñados para tener una dependencia mínima de otros componentes. Por lo tanto, los componentes pueden ser instalados en el ambiente adecuado sin afectar otros componentes o sistemas (Reynoso, 2004).

2.3.3 Patrones de diseño

Un patrón de diseño es una descripción de clases y objetos comunicándose entre sí adaptada para resolver un problema de diseño general en un contexto particular. Su uso ayuda a obtener un software de calidad (reutilización y extensibilidad) (Gamma, E. et al., 1995). Su utilización en la presente investigación es propiciar la estandarización del código, haciendo que el diseño sea más comprensible para otros programadores. Algunos de los beneficios que se obtienen al utilizar patrones son control de cohesión, o reutilización de código (Martin, 2009).

Patrones de diseño GRASP

Entre los patrones de diseño se encuentran los patrones GRASP (*General Responsibility Assignment Software Patterns*, por su nombre en inglés) (Colectivo de autores, 2012). Representan los principios básicos de la asignación de responsabilidades a objetos expresados en forma de patrones. Los patrones GRASP utilizados fueron:

Creador

El patrón Creador guía la asignación de responsabilidades relacionadas con la creación

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

Bajo Acoplamiento

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

Alta Cohesión

El patrón Alta Cohesión es la meta principal que ha de tenerse en cuenta en cada momento en todas las decisiones de diseño. Es un patrón evaluativo que el desarrollador aplica al valorar sus decisiones de diseño. Colabora con otros objetos para compartir el esfuerzo si la tarea es grande. Con el uso de este patrón mejoran la claridad y la facilidad con que se entiende el diseño. Se simplifican el mantenimiento y las mejoras en funcionalidad.

A menudo se genera un bajo acoplamiento. La ventaja de una gran funcionalidad soporta una mayor capacidad de reutilización, porque una clase muy cohesiva puede destinarse a un propósito muy específico. Se manifiesta en todas las clases de la vista de análisis desarrollada, cada una presenta y maneja la información que necesita.

Patrón de diseño GoF

Los *patrones GoF* (*Gang of Four*, en español Pandilla de los Cuatro, formada por Erich Gamma⁸, Richard Helm, Ralph Johnson⁹ y John Vlissides).

Patrón de diseño Fachada

⁸ Erich Gamma es un informático suizo. Es actualmente empleado de Microsoft tras pasar por IBM Rational software y ser director del Object Technology International Zurich Lab en Zúrich liderando el desarrollo de la plataforma Eclipse

⁹ Es un profesor asociado de investigación en el Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

Este patrón básicamente ayuda a crear o provee de una interfaz unificada para manejar un conjunto de objetos en un subsistema. De esta forma, se estaría definiendo una interfaz de alto nivel que hará los subsistemas más fáciles de manejar (Gamma et al., 1994).

Propósito: Simplificar el acceso a un conjunto de clases o interfaces. Proporcionar una interfaz unificada de alto nivel que representa a todo un subsistema facilitando su uso como se muestra en la figura 17. La “fachada” satisface a la mayoría de los clientes, sin ocultar las funciones de menor nivel a aquellos que necesiten acceder a ellas.

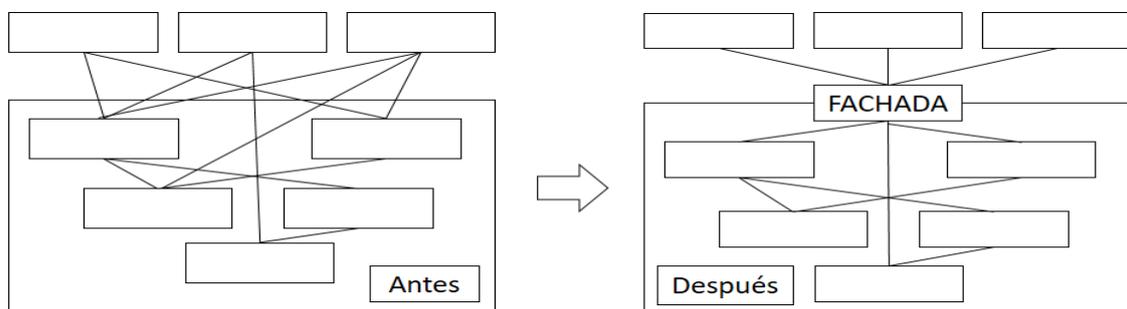


Figura 17: Ejemplo del patrón Fachada.
Fuente: (Elaboración propia).

Patrón Cadena de Responsabilidad

La base es permitir que más de un objeto tenga la posibilidad de atender una petición. Permite a un sistema determinar, en tiempo de ejecución, el objeto que se encargará de un mensaje. Permite a un objeto enviar un mensaje a varios objetos en una cadena de objetos. Cada objeto de la cadena puede manejar el mensaje o pasarlo al siguiente objeto de la cadena (Sommerville, I. 2005).

Un objeto hace una petición a un objeto que puede atenderlo o delegar la tarea a otro objeto, que este a su vez, puede hacer lo mismo. Se utiliza para minimizar la complejidad de entendimiento y de los algoritmos empleados durante el desarrollo de la aplicación.

2.4 Conclusiones

- La selección de la técnica Replay P/C, permitió obtener la mejor opción para identificar un cuello de botella en las actividades de SIPAC.
- Las interfaces generadas por la técnica o desarrolladas para la técnica, propician un análisis intuitivo e identificar la existencia de cuellos de botella en el sistema.

CAPÍTULO 2: “PROPUESTA DE SOLUCION”

- Al ajustar las métricas y configuraciones realizadas a la técnica, se propicia disminuir la complejidad visual y de usabilidad para los usuarios de SIPAC.
- El uso de los patrones de diseño, permitió organizar la implementación de la propuesta de solución para un mejor entendimiento en futuras mejoras y revisiones.

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCION”

3.1 Introducción

En el presente capítulo se realiza la implementación y validación de la propuesta de solución a partir de los métodos y técnicas definidos. Se validó la solución mediante la realización de una encuesta, la aplicación de un caso de estudio y el índice de satisfacción grupal que demuestra la efectividad de la propuesta para la detección cuellos de botella.

3.2 Implementación de la solución

En el epígrafe se explica cómo es que está dado el proceso de implementación de la Herramienta para Minería de Procesos de SIPAC (HMP).



Figura 18: Diagrama de implementación.
Fuente: (Elaboración propia).

3.2.1 Generación y obtención del registro de eventos

SIPAC cuenta con un componente para la extraer registros de eventos, el cual posee nivel 3 de madurez, por lo que se le aplica una técnica de minería de procesos y se obtienen resultados favorables.

A partir de la ejecución del componente se obtiene un fichero de extensión .xes, el cual contiene la información del registro de eventos que permitirá aplicar la técnica “*Replay*”

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

P/C” en SIPAC y se almacena la dirección de memoria del mismo, a partir de la sentencia:

```
File f = jFileChooser.getSelectedFile();
```

Entre los datos que se encuentran almacenados en el registro de evento están:

- **concept:name:** Corresponde al nombre de una actividad.
- **time:timestamp:** Fecha y hora de ejecución de una actividad.
- **org:resource:** Responsable de la actividad (identificador).
- **org:role:** En qué módulo ocurre la actividad.
- **lifecycle:transition:** Ciclo de vida de la actividad.

A continuación, se muestra una sección de un registro de evento extraído de un proceso real de SIPAC:

```
<event>
<string key="concept:name" value="Relacionar actividades al plan"/>
<date key="time:timestamp" value="2016-06-02T09:12:43-04:00"/>
<string key="org:resource" value="administrador"/>
<string key="org:role" value="Seguridad"/>
<string key="org:group" value="Dominio de instalación"/>
<string key="org:group" value="Administración SIPAC"/>
<int key="micro:level" value="1"/>
<string key="lifecycle:transition" value="complete"/>
</event>
```

Figura 19: Fragmento de un registro de evento de SIPAC.
Fuente: (Elaboración propia).

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

3.2.2 Obtención de una Red de Petri

Una vez preparada la entrada de la técnica, se procede a la realización del modelado de la red de petri correspondiente. Esto comienza con la realización de una instancia de la librería `IMMiningDialog` que recibe como parámetro el `XLog` obtenido del registro de evento. Posteriormente la clase `ProcessTree` se encarga de almacenar el árbol de procesos que se obtiene al aplicar el método

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

`IMProcessTree.mineProcessTree`. La variable `pn` almacena la Red de Petri con marcas que se obtiene de convertir el árbol de procesos (*tree*) mediante la utilización de la funcionalidad `convert` de la clase `ProcessTree2Petrinet`.

3.2.3 Obtención del manifiesto

Se utiliza la palabra manifiesto para nombrar la salida del paquete `PNetReplayer`, que se conforma con varios parámetros de entrada además del *XLog* y la Red de Petri correspondiente. Al obtener la Red de Petri del método *Inductive Miner-infrequent* se generan las marcas de inicio y de fin, que son utilizadas como parámetros. Se selecciona el algoritmo *A* ILP-based manifest replay* por defecto utilizado para realizar el chequeo de rendimiento. Posteriormente al instanciar un objeto de tipo `PNetManifestReplayerILPAlgorithm` es posible aplicar el método `replayLog` para almacenar el resultado en una variable de tipo `Manifest`, entrada para poder aplicar `PNetAlignmentAnalysis` funcionalidad encargada de obtener la visualización “*Performance Projection to Model*”, para la identificación a través de una vista de análisis que muestre una Red de Petri con los posibles cuellos de botella.

3.3 Visualización de resultados

La visualización se lleva a cabo mediante la clase `Vista_Replay.java`, la cual cuenta con un panel superior donde se selecciona la perspectiva temporal, ya sea tiempo de procesamiento, tiempo de espera o tiempo de estadía. Luego en el área inferior se muestra la red de petri dependiendo de la perspectiva temporal seleccionada. Se muestra una lista desplegable con las actividades del registro de eventos. Además, una tabla con los valores mínimo, máximo y medio correspondiente a los tiempos de procesamiento, espera y estadía. También una escala de colores para la comprensión del significado de los mismos.

3.4 Validación de la propuesta de solución

Se utilizó como caso de estudio un registro de eventos generado por el componente para la extracción del registro de eventos en formato XES de SIPAC en la Universidad de las Ciencias Informáticas. El registro tiene fecha de inicio 2 de junio de 2016 a las 15:12:49 y fecha de fin 13 de junio de 2016 a las 19:05:51. Este registro de eventos

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

posee 36 casos y 96 eventos. A partir del mismo se evaluará la propuesta de solución de la presente investigación, con respecto a su similar del marco de trabajo ProM en su versión 6.4.

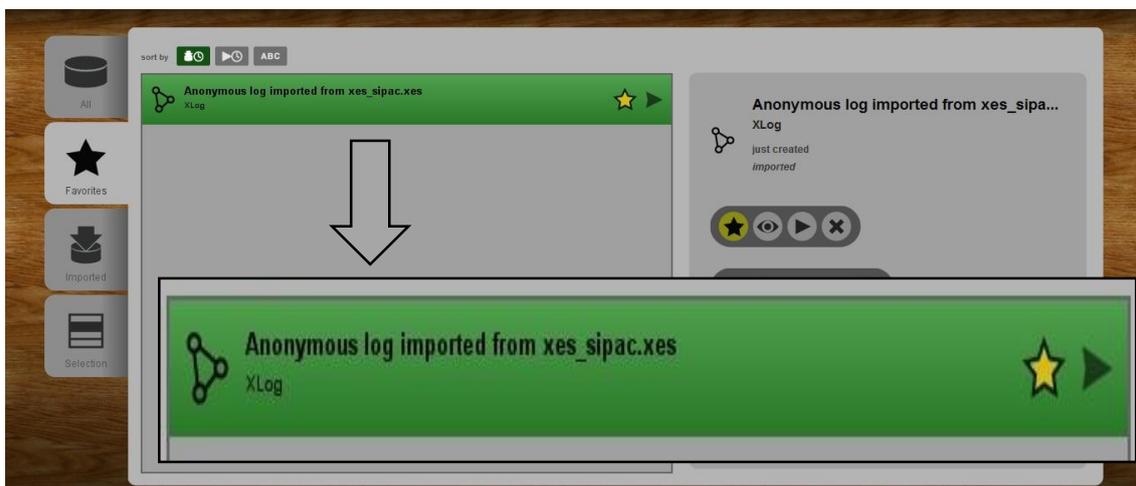
3.4.1 Ejecución de la técnica Replay P/C desde ProM

Para ejecutar el experimento se confecciona la siguiente guía de ejecución:

Pasos para aplicar la técnica Replay P/C desde ProM v6.4

1. Importar el registro de eventos a la herramienta ProM v6.4.
2. Obtener la Red de Petri a partir del uso de la técnica *Mine Petri Net with Inductive Miner*.
3. Aplicación de la técnica “Replay P/C” para la detección de cuellos de botella.
4. Configuración de las métricas.
 - 4.1 Selección de los eventos
 - 4.2 Selección del mapa de transición.
 - 4.3 Selección de los algoritmos.
 - 4.4 Costo de movimientos.
5. Visualización de los resultados.

Al ejecutar la herramienta para la extracción del registro de evento en formato XES de SIPAC, se obtiene el registro de eventos necesario para dar comienzo a la aplicación de la técnica *Replay P/C* en la herramienta ProM v6.4. Posteriormente se importa dicho registro de evento (Figura 20).



CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

Figura 20: Importación del registro de evento.

Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al importar un registro de eventos)

Para descubrir el modelo se aplica la técnica *Mine Petri net with Inductive Miner* (Figura 21) y dando como resultado de la misma la Red de Petri inicial, la cual representa un flujo de actividades, por la cual la técnica hará la comparación con el registro de eventos (Figura 22).



Figura 21: Selección de la técnica para obtener el modelo inicial.

Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al seleccionar *Mine Petri net with Inductive Miner*).

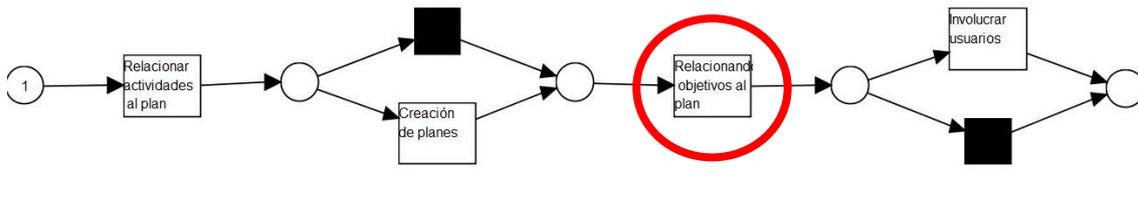


Figura 22: Fragmento de la Red de Petri inicial

Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al seleccionar *Mine Petri net with Inductive Miner*).

Como plantea el paso número 3 se debe seleccionar la técnica a utilizar en este caso es *Replay a Log on Petri Net for Performance/Conformance*.

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

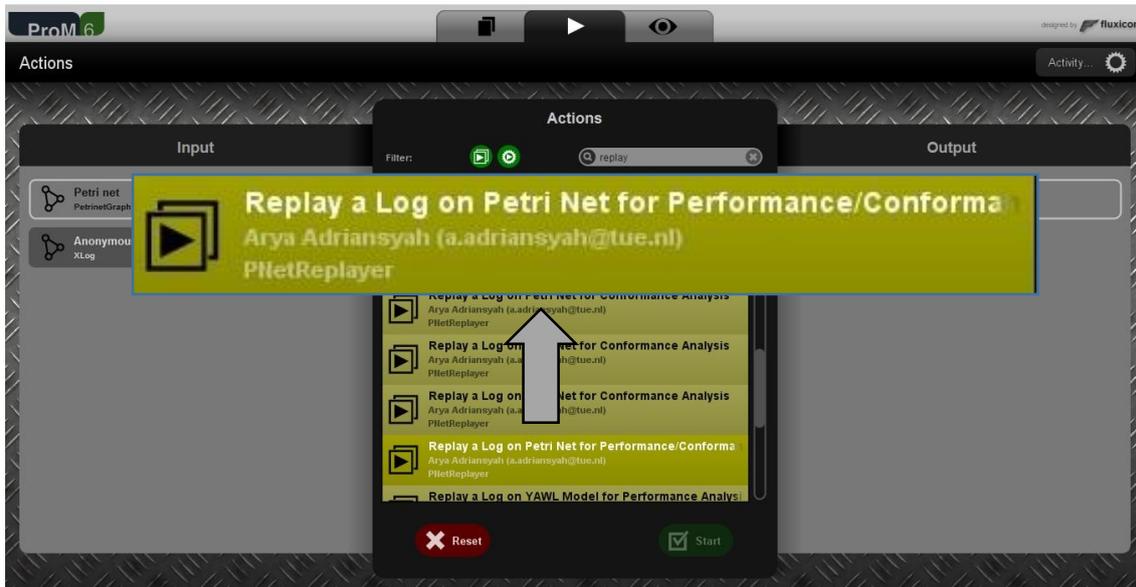


Figura 23: Selección de la técnica *Replay a Log on Petri Net for Performance/Conformance*.
Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al seleccionar la técnica).

Con el fin de configurar la aplicación de la técnica, son ofrecidas por ProM las configuraciones de las métricas, selección de clasificadores, algoritmos, patrones y eventos a tener en cuenta (Anexo 1).

Para realizar el análisis basado en tiempo de ejecución es necesario seleccionar el atributo que brinda este tipo de indicador en el registro de eventos importado que es *time:timestamp*. Posteriormente, se confirma que se desean obtener solo resultados confiables mediante una ventana emergente.

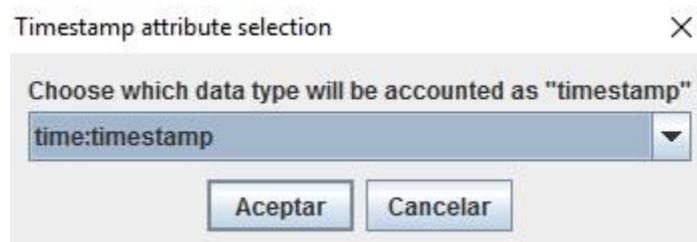


Figura 24: Configuración de atributo “timestamp” para analizar el tiempo.
Fuente: (Resultado de ProM v6.4).

Ya aplicado el paso 4.1 que es la configuración de las métricas, se procede a la visualización del resultado de la técnica “Replay P/C” (Figura 25). Se aprecia un posible cuello de botella en la transacción de relacionando objetivos al plan.

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

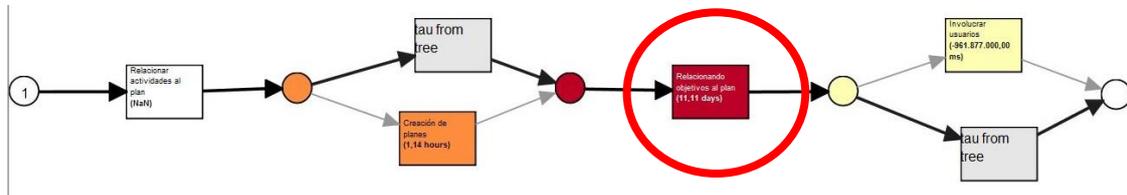


Figura 25: Visualización de un cuello de botella en el registro de evento de SIPAC.
Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al aplicar la técnica Replay P/C).

La Figura 30 muestra una tabla que resume los indicadores de tiempos con sus valores respectivos, estos valores son utilizados para definir los colores correspondientes a lugares y transiciones, donde los valores ascienden de amarillo a rojo según la criticidad del tiempo de ejecución. La frecuencia de ejecución permite que las aristas que unen las actividades aumenten el grosor.

Selected elements* **Involucrar usuarios**

Pattern : Involucrar usuarios +complete

Property	Min.	Max.	Avg.	Std. Dev	Freq.
Throughput...	0,00 ms	0,00 ms	0,00 ms	0,00 ms	9
Waiting time	-20.433.000...	1,38 min	-2.320.777,...	1,89 hours	9
Sojourn time	-20.433.000...	1,38 min	-2.320.777,...	1,89 hours	9
#Unique ca...	6				

#Move on model : 0.0
#Unique cases where move model occur: 0

* Click a place/transition on the projected model to see its stats, or use combobox

Figura 26: Tabla que muestra la información referente a tiempos de espera, estadía y procesamiento.
Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al aplicar la técnica Replay P/C).

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

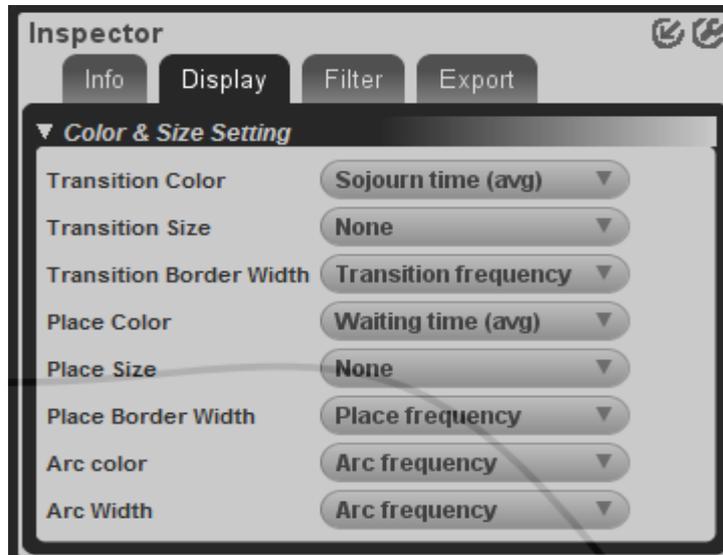


Figura 27: Panel de configuración representar información en transiciones, lugares y arcos.
Fuente: (Resultado de ProM v6.4 al aplicar la técnica Replay P/C).

3.4.2 Ejecución de la técnica Replay P/C en la propuesta de solución

Para la ejecución de la técnica en la HMP se realiza esta guía de pasos.

Pasos para aplicar la técnica Replay P/C desde HMP

1. Importar registro de eventos a HMP.
2. Aplicación de la funcionalidad “Detectar cuellos de botella”.
3. Selección de la visualización deseada y la actividad a analizar.

Al ejecutar el componente para la extracción de registro de eventos en formato XES para SIPAC se obtiene como resultado un registro de eventos el cual es importado en la HMP, figura 28.

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

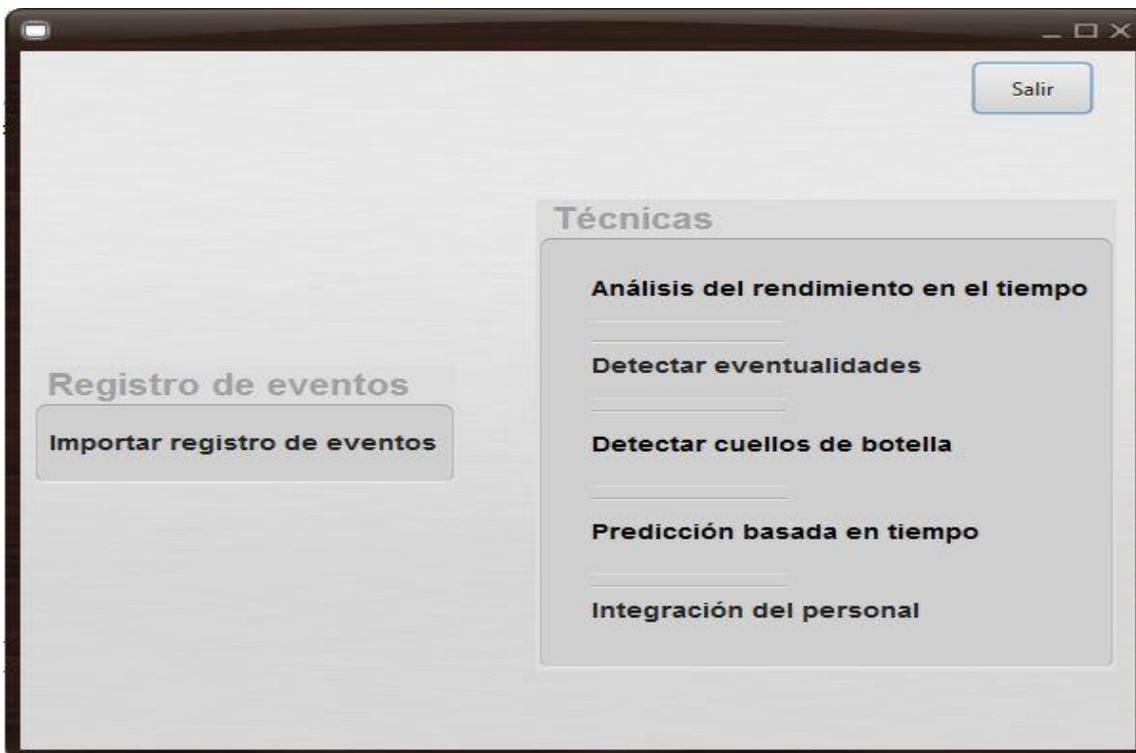
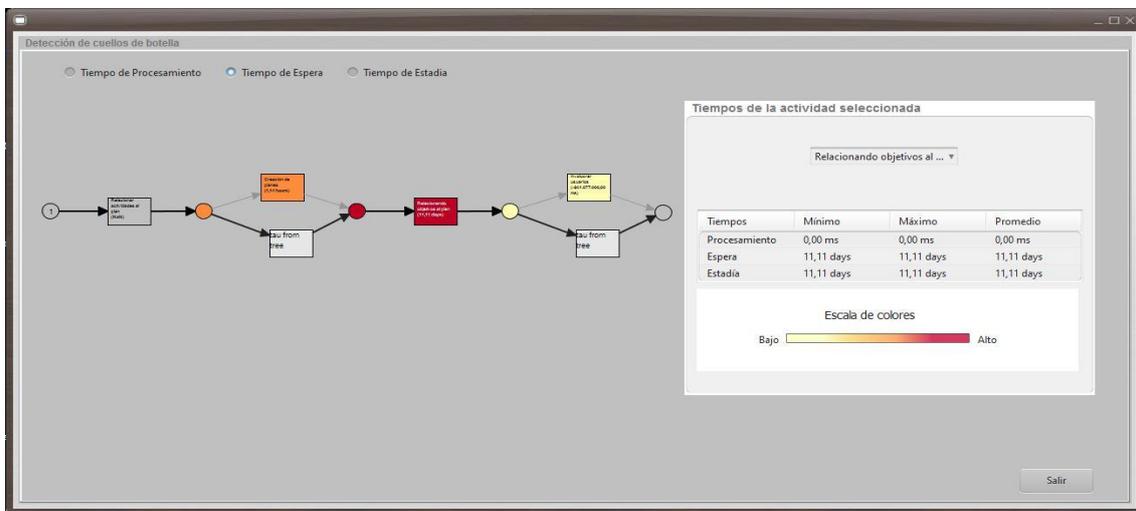


Figura 28: Importación del registro de evento
Fuente: (Ejecución de la HMP)

Luego seleccionamos la técnica para detectar cuellos de botella. Posteriormente procedemos a seleccionar la visualización deseada. La propuesta de solución no requiere la configuración de métricas que limitan su aplicación por parte de personal no experto en el uso de minería de procesos. El procedimiento para realizar los análisis desde ProM v6.4, no es necesario para aplicar la técnica desde HMP.

Luego de haber ejecutado todos los pasos se visualiza el resultado de la técnica para detectar cuellos de botella como lo muestra la figura 29.

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”



**Figura 29:Resultado de la técnica Replay P/C en la HMP.
Fuente: (Ejecución de la HMP)**

En el caso de estudio analizado, las dos aplicaciones desde sistemas diferentes obtuvieron resultados similares con la variación de pasos de ejecución y de entendimiento para el usuario no experto, identificando los posibles cuellos de botella existentes en las transiciones de relacionando objetivos al plan.

3.5 Índice de satisfacción grupal

Una técnica creada en su versión original por V. A. Iadov para evaluar la satisfacción de los estudiantes por las carreras pedagógicas, después de lo cual ha sido reformulada por otros muchos autores con el mismo fin, pero en diferentes contextos. Incluye tres preguntas cerradas y dos abiertas. La técnica de Iadov constituye una vía indirecta para el estudio de la satisfacción, ya que los criterios que se utilizan se fundamentan en las relaciones que se establecen entre las tres preguntas cerradas, que se intercalan dentro de un cuestionario y cuya relación el encuestado desconoce (Regla Hernández-Leonard, 2013). La relación entre las preguntas cerradas se establece a través del denominado Cuadro Lógico de Iadov (Ver tabla 5), el cual posibilita determinar posteriormente el nivel de satisfacción del usuario y del grupo.

**Tabla 5: Cuadro Lógico de Iadov con preguntas reformadas.
Fuente: (Elaboración propia).**

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

1- ¿Considera usted que se deba obviar los datos de ejecución de los procesos en sistemas de planificación, como SIPAC, para la identificación de cuellos de botella?									
No			No sé			Sí			
2- ¿Usaría usted la herramienta propuesta para detectar cuellos de botella en los procesos de SIPAC?									
3- ¿Le satisface el resultado mostrado en la vista desarrollada?	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

La forma de utilizar la tabla es la siguiente: Cada encuestado recibe una evaluación individual en dependencia de las respuestas que dé a las preguntas cerradas. Para facilitar el procesamiento posterior, en el diseño de la encuesta se debe tener en cuenta que a estas preguntas sólo se responda de la forma prevista en el cuadro lógico de ladov.

Por la posición en que se han situado estas preguntas en el cuadro lógico, la respuesta “NO” de la pregunta 1 restringe el área de evaluación a las tres primeras columnas, la respuesta “NO” de la pregunta 2 reduce el área a la tercera columna. La evaluación que corresponde a este encuestado es “3”, que se encuentra en la intersección de la tercera

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

columna, y la fila “Me da lo mismo” del cuadro, debido a que esa fue la respuesta a la pregunta 3.

El número resultante de la interrelación de las tres preguntas indican la posición de cada encuestado en la siguiente escala de satisfacción:

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

El ISG se expresa en una escala numérica que va desde +1 (máxima satisfacción), hasta -1 (máxima insatisfacción). Para obtenerlo se trabaja con los diferentes niveles de satisfacción obtenidos para cada encuestado de la forma que se muestra en la siguiente fórmula:

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

donde A, B, C, D y E son la cantidad de encuestados colocados, respectivamente, en las posiciones de satisfacción 1; 2; 3 o 6; 4 y 5, y N es la cantidad total de encuestados.

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

Tabla 6: Valores de los coeficientes de la técnica de ladov para la satisfacción grupal.
Fuente: (Elaboración propia).

+ 1	Máximo de satisfacción
+ 0,5	Más satisfecho que insatisfecho
0	No definido o contradictorio
- 0,5	Más insatisfecho que satisfecho
-1	Máxima insatisfacción

Los valores de ISG que se encuentran comprendidos entre -1 y -0,5 indican insatisfacción; los comprendidos entre -0,49 y +0,49 evidencian contradicción y los que se encuentran entre 0,5 y 1 indican que existe satisfacción.

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

3.5.1 Aplicación de la técnica ladov para medir satisfacción

Para evaluar el nivel de satisfacción con los instrumentos propuestos, se concibió una encuesta de 8 preguntas como la que se muestra en el Anexo 1. Dicha encuesta fue realizada a una muestra representativa de 15 personas y como población los trabajadores vinculados al Grupo de Investigación de minería de proceso y especialistas de SIPAC, un error de la muestra de 8,9 % y un nivel de confianza de 95 %. Para la selección de la muestra se utilizó el muestreo probabilístico aleatorio simple teniendo en cuenta que estos especialistas conocen o han interactuado con SIPAC. Al aplicar la técnica el valor ISG obtenido fue 0.886 el cual está en el intervalo de satisfacción.

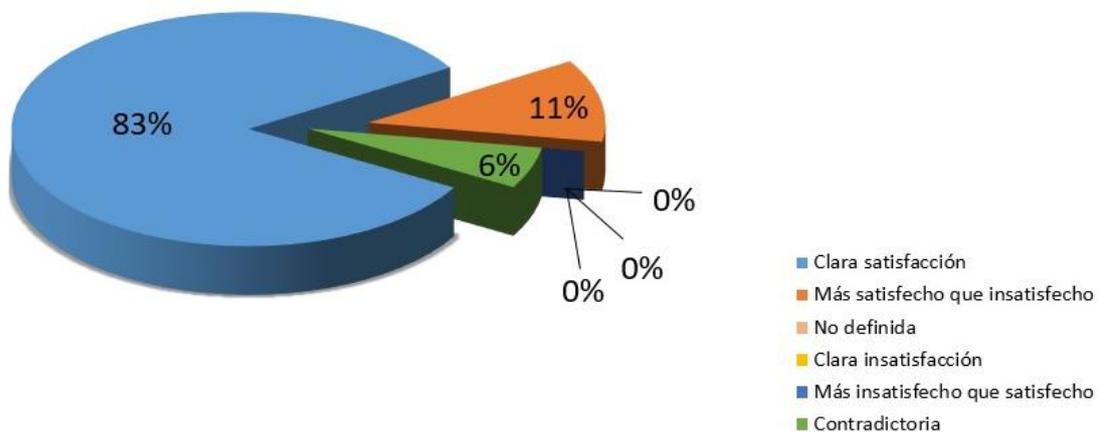


Figura 30: Gráfica de satisfacción.
Fuente: (Elaboración propia)

Se realizaron, 5 preguntas complementarias para conocer el grado de conocimiento que poseen los encuestados; lo que permitió conocer aspectos positivos y negativos de la propuesta de solución, así como criterios sobre la tecnología empleada. Como resultado se dio a conocer que el 63.3% considera que el componente desarrollado mejora la usabilidad, el 40% la comprensión y el 6,7% no sabría qué decir. Además, permitió obtener datos sobre elementos a tener en cuenta para futuras mejoras de la propuesta.

3.6 Impacto de la solución

Con el desarrollo de HMP se resuelven los problemas planteados durante el transcurso de la investigación. También permite que usuarios no expertos en la minería de proceso sean capaces de inferir la ocurrencia de un cuello de botella explícitamente. Los usuarios pueden utilizar la solución para identificar cuellos de botella y aplicar medidas

CAPÍTULO 3: “IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN”

para contrarrestar estas eventualidades en el flujo de procesos. Su aplicación se revierte en mejorar los tiempos y el costo de ejecución de las actividades, dígase de personal o monetariamente hablando.

El sistema tiene impacto económico en cuanto a la eficiencia, ya que esto puede contribuir a una mayor productividad del trabajo al poder controlar la ejecución las actividades y obtener su información con respecto a los tiempos empleados en la ejecución, tales como, identificar las actividades que más se demoran. Se ganará en eficacia y organización del trabajo ya que los directivos de SIPAC tendrán conocimientos de la actividad que no está cumpliendo con la Instrucción No.1.

Así mismo, la herramienta facilita el trabajo del personal partiendo del hecho que es multiplataforma lo que le proporciona soberanía tecnológica que busca el país. Desde el punto de vista ético, el sistema desarrollado, al ser usado por diferentes instituciones a nivel de país desarrollará en mayor grado la responsabilidad de los involucrados, así como su profesionalidad. El compromiso y responsabilidad de cada individuo debe reflejarse en los resultados colectivos con el cumplimiento correcto del plan.

Esto significa una opción más de análisis para tomar decisiones administrativas y apoyar en la implementación de los objetivos estratégicos, la planificación y el control de los recursos en todos los niveles de dirección del país, acorde a lo establecido por la Instrucción No. 1.

3.7 Conclusiones

En este capítulo se puede concluir que:

- Fue posible detectar cuellos de botella en los registros de eventos de SIPAC al aplicar la vista de análisis desarrollada.
- Se mejoró en usabilidad y comprensión de la técnica replay al ser instanciada y adaptada a las características de SIPAC, propiciando una mejora en cuanto a estos parámetros.
- Se obtuvo un índice de satisfacción grupal favorable para la investigación lo que demuestra que los usuarios potenciales de la aplicación se sienten satisfechos con la misma.

CONCLUSIONES GENERALES

Con la realización del presente trabajo de diploma se ha cumplido con el objetivo general propuesto, obteniéndose las siguientes conclusiones:

- Se evidenció que usuarios de SIPAC necesitan una herramienta que les permita analizar todos los procesos con el objetivo de detectar la ocurrencia de cuellos de botella.
- Se seleccionó la técnica “*Replay P/C*” así como las herramientas para desarrollar la vista de análisis.
- La selección de la técnica “*Replay P/C*” de conjunto con sus interfaces y métricas configurables, permitió obtener la mejor opción para identificar un cuello de botella en las actividades de SIPAC disminuyendo así su complejidad visual y mejorando su usabilidad.
- Se incluye en la vista de análisis una leyenda mostrando información enfocada a la comprensión de usuarios no expertos.
- El desarrollo de la vista de análisis permitió detectar cuellos de botella a partir de un registro de eventos mediante la instanciación de la técnica “*Replay P/C*”.
- Se obtuvo un índice de satisfacción grupal favorable lo cual demuestra la satisfacción de usuarios potenciales con la aplicación.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones se recomiendan las siguientes acciones:

- Vincular la herramienta desarrollada a un Sistema experto basado en inteligencia artificial (SSEE) perteneciente a los *Decision Support System* (DSS) para apoyar la toma de decisiones ante los cuellos de botella.
- Implementar una animación de trazas sobre el modelo generado para aumentar el entendimiento por usuarios y expertos a la hora de la identificación de los posibles cuellos de botella.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALST, W.M.P.V. der, 2011. *Manifiesto sobre Minería de Procesos*. 2011. S.l.: s.n.
- AALST, W.M.P.V. der y DONGEN, B.F.V., 2013. Discovering Petri Nets from Event Logs. T. Petri Nets and Other Models of Concurrency. Eindhoven, the Netherlands.
- ADRIANSYAH, A., 2012. *Replay a Log on Petri Net for Conformance Analysis Plug-in*. 2012. S.l.: s.n.
- ADRIANSYAH, ARYA y AALST, V. der, 2012. *Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis*. S.l.: s.n.
- AILENEI, I.M., 2011. *Process Mining Tools: A Comparative Analysis*. S.l.: s.n.
- ARTURO ORELLANA, 2015. Herramienta para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando minería de procesos.
- BERNAL, M. y TORO, M., 2012. La Planificación: Conceptos Básicos, Principios, Componentes, Características y Desarrollo del Proceso. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2017]. Disponible en: <https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/1-introduccion-a-la-planificacion.pdf>.
- BUIJS, J., DONGEN, B. V. y AALST, W.M. V.D., 2012. On the role of fitness, precision, generalization and simplicity in process discovery. *On the Move to Meaningful Internet Systems*. S.l.: s.n., pp. 305–322.
- CASAS, NESTOR, 2010. *Teoría de las restricciones o los cuellos de botella*. S.l.: s.n.
- COLECTIVO DE AUTORES, 2012. Patrones de Asignación de Responsabilidades (GRASP), In: Universidad de Sevilla.
- CORTÉS, H, 1998. *Gerencia Efectiva*. S.l.: s.n.
- DECHTER, R. y PEARL, J., 1985. *Generalized Best-first Search Strategies and the Optimality of A**. *Journal of the ACM (JACM)*. 1985. S.l.: s.n.
- ESPARZA, J. y NIELSEN, M., 1994. *Decidability Issues for Petri Nets*. 24 noviembre 1994. S.l.: s.n.
- FRANKY, C., 2010. *Java EE 5 (sucesor de J2EE)* [en línea]. 2010. S.l.: s.n. Disponible en: http://www.acis.org.co/fileadmin/Conferencias/ConfConsueloFranky_Abr19.pdf.
- GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R. y VLISSIDES, J., 1994. *Design Patterns*. S.l.: s.n.

- GAMMA, E., GELM, R., JOHNSON, R. y VLISSIDES, J., 1995. *Design Patterns*. Addison Wesley. 1995. S.l.: s.n.
- GARCÍA, A.O., CORALES, Y.S. y CABRERA, L.G., 2015. Application of Model L* mining process to the module of warehouse of the Hospital Information System (HIS). S.l.: s.n.
- GARCÍA, A.O. y VIERA, K.P., 2015. UTILIDAD DE LA TÉCNICA MINERÍA DIFUSA PARA MODELAR PROCESOS EN EL ENTORNO HOSPITALARIO.
- GONZÁLEZ, M.F., PIERRE, E.A., ARTOLA, A.R. y PÉREZ, Y.P., 2012. Informatización de la Planificación por Objetivos, Realidades y Perspectivas.
- GÜNTHER y VAN DER AALST, 2007. Fuzzy mining–adaptive process simplification based.
- HERRERA, R.Y., 2013. Minería de proceso como herramienta para la auditoria.
- IEEE TASK FORCE ON PROCESS MINING, 2011. Manifiesto de la Minería de Procesos.
- LARMAN, C., 2003. *UML y Patrones. Una Inatroducción al Análisis y Diseño Orientado a Objeto y al Preceso Unificado*. 2da Edición. S.l.: s.n. ISBN 84-205-3438-2.
- LARREA, O.U., PÉREZ, Y.E. y GÁRCIA, A.O., 2015. *Integración del plugin Inductive visual Miner de ProM al Sistema de Información Hospitalaria del CESIM*. S.l.: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- LEEMANS, S., FAHLAND, DIRK y VAN DER AALST, 2014. Process and Deviation Exploration with Inductive visual Miner. *Eindhoven University of Technology*.
- LEEMANS, S.J.J., FAHLAND, D. y AALST, W.M.P.V.D., 2013. Discovering BlockStructured Process Models From Event Logs Containing Infrequent Behaviour.
- LEÓN, I. y DÁVILA, C., 2016. *Vista de Análisis para Identificar Cuellos de Botella en la Ejecución de los Procesos del Sistema XAVIA HIS*. S.l.: Universidad de las Ciencias Informáticas. Facultad 2.
- MARTIN, ROBERT C., 2009. *Clean code: a handbook of agile software craftsmanship*. Pearson Education. 2009. S.l.: s.n.
- MEDEIROS, A.K.A.D., AALST, V. der, DONGEN, B.F.V. y WEIJTERS, A.J.M.M., 2003. Workflow Mining: Current Status and Future

- Directions. *On the move to meaningful internet systems*. S.l.: s.n., pp. 389-406.
- MEDEIROS, A.K.A.D., DONGEN, B.F.V., AALST, W.M.P.V.D. y WEIJTERS, A.J.M.M., 2004. *Process mining: Extending the α -algorithm to mine short loops*. S.l.: s.n.
- MICROSYSTEMS, S., 2014. Java Runtime Environment (JRE). [en línea]. Disponible en: http://descargar.cnet.com/Java-Runtime-Environment-JRE/3000-2378_4-10009607.html.
- MILLER, G.T. y SPOOLMAN, S., 2011. *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions*. 17^a. S.l.: s.n. ISBN 0-538-73534-1.
- QPR SOFTWARE OYJ, 2011. Automated Business Process Discovery Software QPR ProcessAnalyzer. [en línea]. Disponible en: <http://www.qpr.com/products/qpr-processanalyzer.htm>.
- RAMÍREZ, Y.G., GONZÁLEZ, M.F., BELTRÁN, A.C., ARTOLA, A.R., VIDAL, N.B. y TERÁN, Y.P., 2012. DESARROLLO HISTÓRICO DEL MODELO DE PLANIFICACIÓN CUBANO E INFORMATIZACIÓN DEL MODELO ACTUAL.
- REGLA HERNÁNDEZ-LEONARD, A., 2013. EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN CON EL SERVICIO DE CAPACITACIÓN DEL INIMET. En: Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, Cuba, *Boletín Científico Técnico INIMET*, pp. 18-27. ISSN 0138-8576.
- REYNOSO, C.B., 2004. *Introducción a la Arquitectura de Software*. [en línea]. 2004. S.l.: s.n. Disponible en: <http://carlosreynoso.com.ar/archivos/carlos-reynoso-introduccion-a-la-arquitectura-de-software.pdf>.
- SIMERGIA ENGINEERING, 2017. Simergia Engineering. *Simergia Engineering* [en línea]. [Consulta: 1 marzo 2017]. Disponible en: <http://simergia.com/simulacion-de-procesos/>.
- SINGH, L. y AGARWAL, N., 2014. Process Mining Tools: A comparative Analysis and Review.
- SOMMERVILLE, I., 2005. *Ingeniería del software* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=gQWd49zSut4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=%22%E2%80%9CUn+patr%C3%B3n+de+una+persona+es+un+bloque%22+%22en+cuanto+al+uso+de%22+%22Proveer+la%22+%22para+p%C3%A1ginas+de%22+%22La+Ingeni>

- er%C3%ADa+del+Software+se+encuentra%22+%22Ayudar+a+ide
ntificar+los+errores+y%22+&ots=s685pnACyg&sig=SgEk0-
rwPE6Yza_1s1Iwz9FQDKM.
- STÄRK, R.F., SCHMID, J. y BÖRGER, E., 2012. Java and the Java virtual machine: definition, verification, validation. Springer Science & Business Media.
- Tendencias actuales en Sistemas de Información. *Scribd* [en línea], 2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/56296625/Tendencias-actuales-en-Sistemas-de-Informacion>.
- VAN DER AALST, 2003. Discovering process models from event logs. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- VAN DER AALST W. M. P., 2011a. *Manifiesto sobre Minería de Procesos*. 2011. S.l.: s.n.
- VAN DER AALST W. M. P., 2011b. Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes.
- VAN DER AALST, W.M.P., PESIC, M. AND SONG, 2010. *M. Beyond Process Mining: From the Past to Present and Future. En Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg*. S.l.: s.n.
- VAN DER AALST Y OTROS., 2012. *Manifiesto sobre minería de pocesos.pdf* [en línea]. 2012. S.l.: s.n. [Consulta: 10 octubre 2016]. Disponible en: <http://www.win.tue.nl/ieeetfpm/lib/exe/fetch.php?media=shared:pm-m-spanish-v1.pdf>.
- VANDONGEN, B.F. y ADRIANSYAH, A., 2009. Process Mining: Fuzzy Clustering and Performance Visualization.
- VERBEEK y H.M.W., 2010. *ProM 6 Tutorial*. 2010. S.l.: s.n.

BIBLIOGRAFÍA

- AALST, W.M.P.V. der, 2011. *Manifiesto sobre Minería de Procesos*. 2011. S.l.: s.n.
- AALST, W.M.P.V. der y DONGEN, B.F.V., 2013. Discovering Petri Nets from Event Logs. T. Petri Nets and Other Models of Concurrency. Eindhoven, the Netherlands.
- ADRIANSYAH, A., 2012. *Replay a Log on Petri Net for Conformance Analysis Plugin*. 2012. S.l.: s.n.
- ADRIANSYAH, ARYA y AALST, V. der, 2012. *Replaying history on process models for conformance checking and performance analysis*. S.l.: s.n.
- AILENEI, I.M., 2011. *Process Mining Tools: A Comparative Analysis*. S.l.: s.n.
- AMAYA, J.A., 2005. *Gerencia: Planeacion & Estrategia*. S.l.: Universidad Santo Toms de Aquino. ISBN 978-958-97305-8-4.
- BERNAL, M. y TORO, M., 2012. La Planificación: Conceptos Básicos, Principios, Componentes, Características y Desarrollo del Proceso. [en línea]. [Consulta: 23 febrero 2017]. Disponible en: <https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2013/04/1-introduccion-a-la-planificacion.pdf>.
- BOOCH, GRADY, 2005. The unified modeling language user guide. *Pearson Education India.*,
- BUIJS, J., DONGEN, B. V. y AALST, W.M. V.D., 2012. On the role of fitness, precision, generalization and simplicity in process discovery. *On the Move to Meaningful Internet Systems*. S.l.: s.n., pp. 305–322.
- BURGWAL, G. y CUÉLLAR, J.C., 1999. Planificación estratégica y operativa.pdf. [en línea]. [Consulta: 9 diciembre 2016]. Disponible en: <http://dspace.unm.edu/bitstream/handle/1928/12238/Planificaci%C3%B3n%20estrat%C3%A9gica%20y%20operativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- CASAS, NESTOR, 2010. *Teoría de las restricciones o los cuellos de botella*. S.l.: s.n.
- CHAMORRO, M., 2013. *Método para aplicar minería de procesos a la distribución de bebestibles no alcohólicos*. Santiago de Chile: s.n.
- CHIESA, F., [sin fecha]. METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE SISTEMAS ERP. [en línea]. [Consulta: 8 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.ucla.edu/ve/dac/departamentos/informatica-II/metodologia-para-seleccion-de-sistemas-erp.PDF>.

COLECTIVO DE AUTORES, 2012. Patrones de Asignación de Responsabilidades (GRASP), In: Universidad de Sevilla.

CORTÉS, H, 1998. *Gerencia Efectiva*. S.l.: s.n.

Cost-Based Conformance Checking using the A* Algorithm. [2017].

DECHTER, R. y PEARL, J., 1985. *Generalized Best-first Search Strategies and the Optimality of A**. *Journal of the ACM (JACM)*. 1985. S.l.: s.n.

EDILICIA, 18:21:02 UTC. Planificación Estratégica y Operativa Municipal. [en línea]. Noticias y política. S.l. [Consulta: 11 diciembre 2016]. Disponible en: http://es.slideshare.net/doctora_edilicia/planificacin-estratgica-y-operativa-municipal?qid=a8637483-23cd-4946-b46f-abcb87752668&v=&b=&from_search=1.

ESPARZA, J. y NIELSEN, M., 1994. *Decidability Issues for Petri Nets*. 24 noviembre 1994. S.l.: s.n.

FERNÁNDEZ DE CASTRO FABRE, A. y LÓPEZ PADRÓN, A., 2014. Validación mediante criterio de usuarios del sistema de indicadores para prever, diseñar y medir el impacto en los proyectos de investigación del sector agropecuario. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 23, no. 3, pp. 77-82. ISSN 2071-0054.

FRANKY, C., 2010. *Java EE 5 (sucesor de J2EE)* [en línea]. 2010. S.l.: s.n. Disponible en: http://www.acis.org.co/fileadmin/Conferencias/ConfConsueloFranky_Abr19.pdf.

GAMMA, E., HELM, R., JOHNSON, R. y VLISSIDES, J., 1994. *Design Patterns*. S.l.: s.n.

GAMMA, E., GELM, R., JOHNSON, R. y VLISSIDES, J., 1995. *Design Patterns*. Addison Wesley. 1995. S.l.: s.n.

GARCÍA, A.O., CORALES, Y.S. y CABRERA, L.G., 2015. Application of Model L* mining process to the module of warehouse of the Hospital Information System (HIS). S.l.: s.n.,

GARCÍA, A.O. y VIERA, K.P., 2015. UTILIDAD DE LA TÉCNICA MINERÍA DIFUSA PARA MODELAR PROCESOS EN EL ENTORNO HOSPITALARIO.

GONZÁLEZ, M.F., PÉREZ, Y.P.-T. y GONZÁLEZ, M.T.R., 2016. DESARROLLO DEL SISTEMA DE APOYO AL PROCESO DE PLANEACIÓN EN ENTIDADES CUBANAS. S.l.:

GONZÁLEZ, M.F., PIERRE, E.A., ARTOLA, A.R. y PÉREZ, Y.P., 2012. Informatización de la Planificación por Objetivos, Realidades y Perspectivas.

- GONZÁLEZ, M.T.R., 2013. Evaluación de la implementación de la Instrucción 1 mediante la utilización de SIPAC. S.l.
- GÜNTHER y VAN DER AALST, 2007. Fuzzy mining–adaptive process simplification based.
- HERRERA, R.Y., 2013. Minería de proceso como herramienta para la auditoria. ,
- IEEE TASK FORCE ON PROCESS MINING, 2011. Manifiesto de la Minería de Procesos.
- JIMÉNEZ, L., 2015. Etapas y procesos de planificación. [en línea]. Educación. S.l. [Consulta: 23 febrero 2017]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/LuisanaIgarra/etapas-y-procesos-de-la-planificacin>.
- LARMAN, C., 2003. *UML y Patrones. Una Inatroducción al Análisis y Diseño Orientado a Objeto y al Preceso Unificado*. 2da Edición. S.l.: s.n. ISBN 84-205-3438-2.
- LARREA, O.U., PÉREZ, Y.E. y GÁRCIA, A.O., 2015. *Integración del plugin Inductive visual Miner de ProM al Sistema de Información Hospitalaria del CESIM*. S.l.: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- LEEMANS, S., FAHLAND, DIRK y VAN DER AALST, 2014. Process and Deviation Exploration with Inductive visual Miner. *Eindhoven University of Technology.*,
- LEEMANS, S.J.J., FAHLAND, D. y AALST, W.M.P.V.D., 2013. Discovering BlockStructured Process Models From Event Logs Containing Infrequent Behaviour.
- LEÓN, A.M., RIVERA, D.N. y NARIÑO, A.H., 2016. Relevancia de la Gestión por Procesos en la Planificación Estratégica y la Mejora Continua. [en línea], [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.altagestion.com.co/boletines/mailling2015/redes_sociales/doc/0702_DOCUMENTO_RelevanciaGPP_20150708.pdf.
- LEÓN, I. y DÁVILA, C., 2016. *Vista de Análisis para Identificar Cuellos de Botella en la Ejecución de los Procesos del Sistema XAVIA HIS*. S.l.: Universidad de las Ciencias Informáticas. Facultad 2.
- MARTIN, ROBERT C., 2009. *Clean code: a handbook of agile software craftsmanship*. Pearson Education. 2009. S.l.: s.n.
- MEDEIROS, A.K.A.D., AALST, V. der, DONGEN, B.F.V. y WEIJTERS, A.J.M.M., 2003. Workflow Mining: Current Status and Future Directions. *On the move to meaningful internet systems*. S.l.: s.n., pp. 389-406.
- MEDEIROS, A.K.A.D., DONGEN, B.F.V., AALST, W.M.P.V.D. y WEIJTERS, A.J.M.M., 2004. *Process mining: Extending the α -algorithm to mine short loops*. S.l.: s.n.

metodologia-para-seleccion-de-sistemas-erp. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 8 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.ucla.edu/ve/dac/departamentos/informatica-II/metodologia-para-seleccion-de-sistemas-erp.PDF>.

MICROSYSTEMS, S., 2014. Java Runtime Environment (JRE). [en línea]. Disponible en: http://descargar.cnet.com/Java-Runtime-Environment-JRE/3000-2378_4-10009607.html.

MILLER, G.T. y SPOOLMAN, S., 2011. *Living in the Environment: Principles, Connections, and Solutions*. 17ª. S.l.: s.n. ISBN 0-538-73534-1.

Minería de procesos aplicada a la monitorización de las misiones robóticas [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 26 enero 2017]. Disponible en: <http://www.ehu.es/documents/3444171/4484749/26.pdf>.

MINISTERIO DE FOMENTO, 2005. Principios de la gestión de la Calidad. [en línea]. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/9541acde-55bf-4f01-b8fa-03269d1ed94d/19421/CaptuloIVPrincipiosdelagestindelaCalidad.pdf>.

ORELLANA, A., 2015. Herramienta para la detección de variabilidad en procesos hospitalarios aplicando minería de procesos.

PARTIDO COMUNISTA DE CUBA y ASAMBLEA NACIONAL DEL PODER POPULAR, 2016. *Actualización de los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el periodo 2016-2021*. 2016. S.l.: s.n.

PETEIRO, D.R., 2016. Todo sobre la Gestión por Procesos (Parte I) | Sinapsys Business Solutions. [en línea]. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.sinapsys.com/es/content/todo-sobre-la-gestion-por-procesos-parte-i>.

Planificación estratégica y operativa.pdf [en línea], [sin fecha]. S.l.: s.n. [Consulta: 9 diciembre 2016]. Disponible en: <http://dspace.unm.edu/bitstream/handle/1928/12238/Planificaci%C3%B3n%20estrat%C3%A9gica%20y%20operativa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Principios de la gestión de la Calidad. [en línea], 2016. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/9541acde-55bf-4f01-b8fa-03269d1ed94d/19421/CaptuloIVPrincipiosdelagestindelaCalidad.pdf>.

QPR SOFTWARE OYJ, 2011. Automated Business Process Discovery Software QPR ProcessAnalyzer. [en línea]. Disponible en: <http://www.qpr.com/products/qpr-processanalyzer.htm>.

RAMÍREZ, Y.G., GONZÁLEZ, M.F., BELTRÁN, A.C., ARTOLA, A.R., VIDAL, N.B. y TERÁN, Y.P., 2012. DESARROLLO HISTÓRICO DEL MODELO DE PLANIFICACIÓN CUBANO E INFORMATIZACIÓN DEL MODELO ACTUAL.

REAL ACADEMIA DE LA LENGUA ESPAÑOLA., 2017. Diccionario de la lengua española. *Diccionario de la lengua española* [en línea]. [Consulta: 9 febrero 2017]. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=UFbxsxz>.

Redalyc.EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN CON EL SERVICIO DE CAPACITACIÓN DEL INIMET - 223028547004.pdf. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 25 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/2230/223028547004.pdf>.

REGLA HERNÁNDEZ-LEONARD, A., 2013. EVALUACIÓN DE LA SATISFACCIÓN CON EL SERVICIO DE CAPACITACIÓN DEL INIMET. En: Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, Cuba, *Boletín Científico Técnico INIMET*, pp. 18-27. ISSN 0138-8576.

REYNOSO, C.B., 2004. *Introducción a la Arquitectura de Software*. [en línea]. 2004. S.l.: s.n. Disponible en: <http://carlosreynoso.com.ar/archivos/carlos-reynoso-introduccion-a-la-arquitectura-de-software.pdf>.

RODRÍGUEZ, A.F., PINEDA, J.A. y SÁNCHEZ, R., 2002. Sistemas de planificación de recursos empresariales: un caso real. [en línea]. [Consulta: 8 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.ineel.mx/bolDPATY02/apli.pdf>.

SANZ, J.B., CALVO, M.A.C., PÉREZ, R.C., ZAPATA, M.A.R. y PANCHON, F.T., 2016. *GUÍA PARA UNA GESTIÓN BASADA EN PROCESOS* [en línea]. Instituto Andaluz de Tecnología: s.n. [Consulta: 8 noviembre 2016]. ISBN 84-923464-7-7. Disponible en: <https://www.oviedo.es/documents/12103/f8e7f4c1-a7ba-4fb5-87d7-c95335c79b22>.

SERVICIO DE EVALUACIÓN, PLANIFICACIÓN Y CALIDAD, 2011. *Manual de gestión de procesos_VI* [en línea]. 1 octubre 2011. S.l.: s.n. [Consulta: 8 noviembre 2016]. Disponible en: http://www.upv.es/orgpeg/web/manual_gestion_procesos.pdf.

SIMERGIA ENGINEERING, 2017. Simergia Engineering. *Simergia Engineering* [en línea]. [Consulta: 1 marzo 2017]. Disponible en: <http://simergia.com/simulacion-de-procesos/>.

SINGH, L. y AGARWAL, N., 2014. Process Mining Tools: A comparative Analysis and Review.

Sistema De Planificacion De Operaciones - Ensayos universitarios - Yasomil. *Buenas Tareas* [en línea], 2016. [Consulta: 11 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistema-De-Planificacion-De-Operaciones/4892748.html>.

Sistemas de planificación de recursos empresariales: un caso real. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 8 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.ineel.mx/bolDPATY02/apli.pdf>.

SOMMERVILLE, I., 2005. *Ingeniería del software* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=gQWd49zSut4C&oi=fnd&pg=PA1&q=%22%E2%80%9CUn+patr%C3%B3n+de+una+persona+es+un+bloque%22+%22en+cuanto+al+uso+de%22+%22Proveer+la%22+%22para+p%C3%A1ginas+de%22+%22La+Ingenier%C3%ADa+del+Software+se+encuentra%22+%22Ayudar+a+identificar+los+errores+y%22+%22&ots=s685pnACyg&sig=SgEk0-rwPE6Yza_1s1Iwz9FQDKM.

STÄRK, R.F., SCHMID, J. y BÖRGER, E., 2012. *Java and the Java virtual machine: definition, verification, validation*. Springer Science & Business Media. ,

Técnica De Iadov. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 29 mayo 2017]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2008a/370/Tecnica%20de%20Iadov.htm>.

Tendencias actuales en Sistemas de Información. *Scribd* [en línea], 2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/56296625/Tendencias-actuales-en-Sistemas-de-Informacion>.

The DCI Architecture: A New Vision of Object-Oriented Programming. [en línea], 2017. [Consulta: 15 febrero 2017]. Disponible en: http://www.artima.com/articles/dci_vision.html.

VAN DER AALST, 2003. *Discovering process models from event logs*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering.

VAN DER AALST W. M. P., 2011. *Process Mining. Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*.

VAN DER AALST, W.M.P., PESIC, M. AND SONG, 2010. *M. Beyond Process Mining: From the Past to Present and Future. En Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg*. S.l.: s.n.

VAN DER AALST Y WEIJTERS, 2004; FLUXICON, 2015; VAN DER AALST, 2011; VAN DER AALST ET AL., 2011. *Manifiesto sobre Minería de Procesos*. 2011. S.l.: s.n.

VANDONGEN, B.F. y ADRIANSYAH, A., 2009. *Process Mining: Fuzzy Clustering and Performance Visualization*.

VERBEEK y H.M.W., 2010. *ProM 6 Tutorial*. 2010. S.l.: s.n.

Visual Paradigm para UML. [en línea], 2016. Disponible en: <http://www.software.com.ar/p/visual-paradigm-para-uml>.

YASOMIL, E. universitarios-, 2016. *Sistema De Planificacion De Operaciones. Buenas Tareas* [en línea]. [Consulta: 11 diciembre 2016]. Disponible en:

BIBLIOGRAFÍA

<http://www.buenastareas.com/ensayos/Sistema-De-Planificacion-De-Operaciones/4892748.html>.

ANEXOS

Anexo 1: Parámetros de configuración de ProM v6.4.

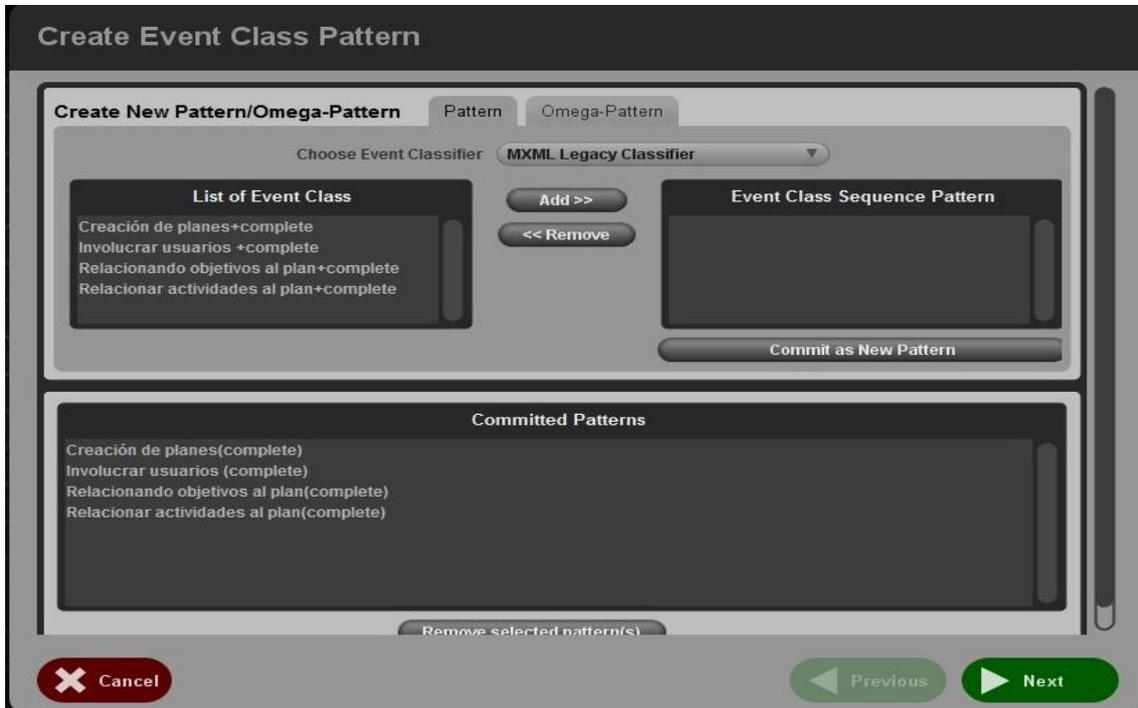


Figura 31: Selección de los eventos.
Fuente: (Resultado de configuración de ProM v6.4).

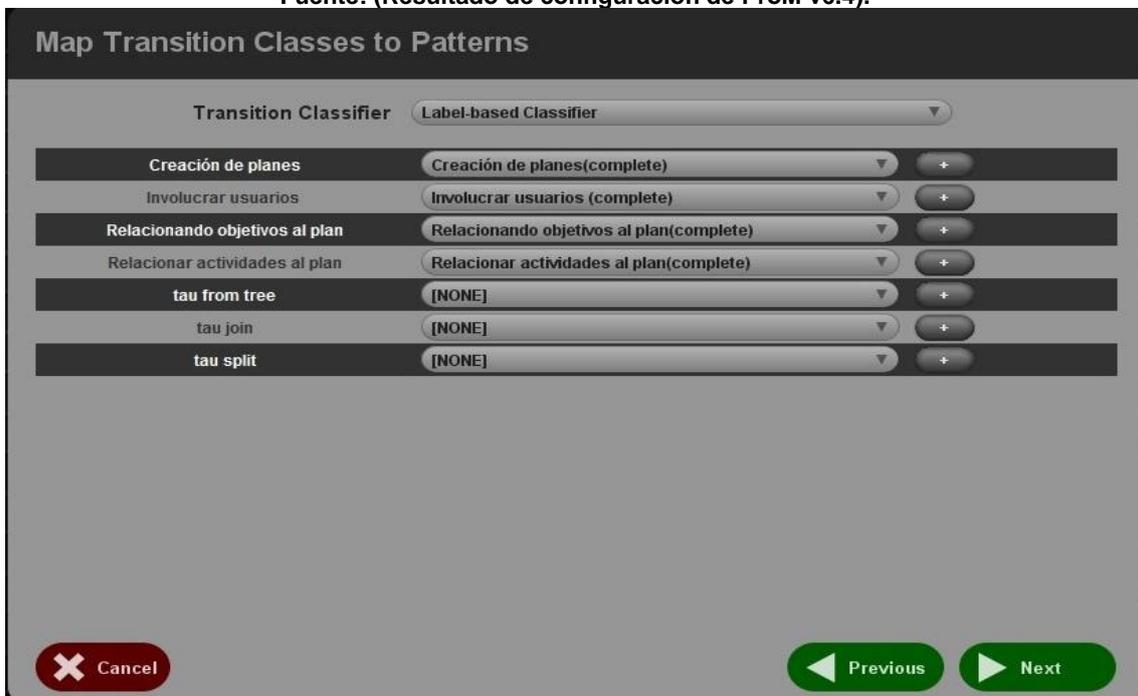


Figura 32: Seleccionar mapa de transición.
Fuente: (Resultado de configuración de ProM v6.4).

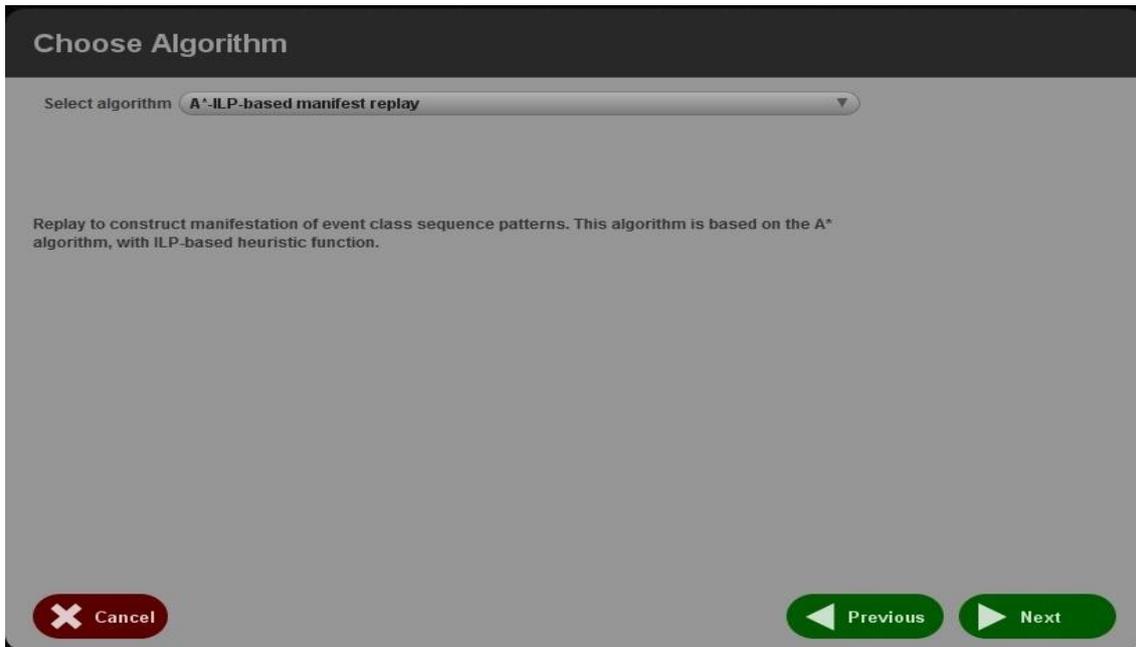


Figura 33: Selección de los algoritmos.
Fuente: (Resultado de configuración de ProM v6.4).

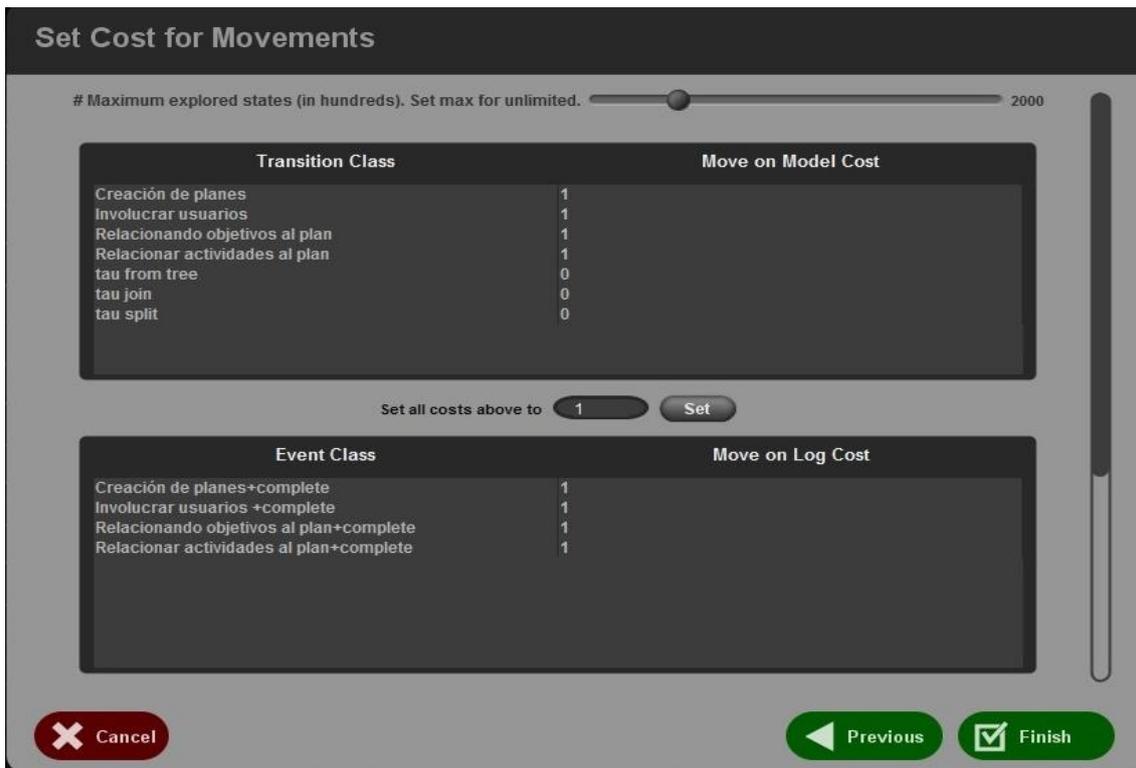


Figura 34: Costo de movimientos.
Fuente: (Resultado de configuración de ProM v6.4).

Anexo 2: Encuesta satisfacción de usuarios potenciales.

Estimado (a): la presente encuesta forma parte de una investigación que está dirigida a comprobar la factibilidad de utilización de la Herramienta para minería de procesos de SIPAC, específicamente en la detección de cuellos de botella. Por cuanto, sus valoraciones acerca de los asuntos que se someten a su consideración servirán de ayuda para los desarrolladores.

Evaluación de la instanciación de una técnica de minería de procesos para detectar cuellos de botellas en SIPAC		
No.	Preguntas	Respuestas
1	¿Considera usted que se deba obviar los datos de ejecución de los procesos en sistemas de planificación, como SIPAC, para la identificación de cuellos de botella?	<input type="checkbox"/> Si. <input type="checkbox"/> No sé. <input type="checkbox"/> No
2	¿Usaría usted la herramienta propuesta para detectar cuellos de botella en los procesos de SIPAC?	<input type="checkbox"/> Si. <input type="checkbox"/> No sé. <input type="checkbox"/> No
3	¿Le satisface el resultado mostrado en la vista desarrollada?	<input type="checkbox"/> Me satisface mucho. <input type="checkbox"/> No me satisface tanto. <input type="checkbox"/> Me da lo mismo. <input type="checkbox"/> Me insatisface más de lo que me satisface. <input type="checkbox"/> No me satisface nada. <input type="checkbox"/> No sé qué decir.
4	¿Conoce usted el objetivo de SIPAC?	<input type="checkbox"/> Si. <input type="checkbox"/> No.

5	Si tuviera que analizar un proceso organizacional con una herramienta informática ¿Cuál sería su motivación? Seleccione una sola opción.	<input type="checkbox"/> Ahorro de tiempo. <input type="checkbox"/> Resultados confiables. <input type="checkbox"/> Basado en datos reales.
6	¿Conoce lo que es un cuello de botella en la ejecución de un proceso?	<input type="checkbox"/> Si. <input type="checkbox"/> No.
7	¿Qué elementos a su entender, mejora la herramienta propuesta con respecto a las ya existentes de minería de procesos? Seleccione una sola opción.	<input type="checkbox"/> Usabilidad. <input type="checkbox"/> Comprensión. <input type="checkbox"/> Ninguno. <input type="checkbox"/> No sé.
8	¿Sabe usted que problemas traen consigo los cuellos de botella en el correcto funcionamiento de SIPAC?	<input type="checkbox"/> Si. <input type="checkbox"/> No.