UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS DE
INFORMACIÓN**

**Modelo para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process
Mining y Data Visualization**

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas de Información

AUTOR(ES)

Evangelista Pescorán, Misael Elias (0000-0003-0211-6392)

Coronado Torres, Andre Junior (0000-0002-4647-0505)

ASESOR

Armas Aguirre, Jimmy Alexander (0000-0002-1176-8969)

Lima, agosto 2020

DEDICATORIA

Este trabajo, lo dedicamos a nuestros padres, por el apoyo y sacrificio a lo largo de toda la carrera.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer, en primer lugar, a Dios por permitirnos culminar exitosamente esta etapa. En segundo lugar, agradecer a nuestros padres y profesores por la mentoría brindada.

RESUMEN

El presente trabajo propone un modelo para la evaluación de variables en el sector salud utilizando Process Mining y Data Visualization soportado por la herramienta Celonis. Esto surge ante la problemática orientada a la dificultad en la comprensión de las actividades que están involucradas en los procesos negocios y los resultados de este.

El proyecto se centra en la investigación de dos disciplinas emergentes. Una de estas disciplinas es Process Mining y se enfoca principalmente en los procesos, en los datos por cada evento, esto con el fin de descubrir un modelo, ver conformidad de los procesos o mejorarlos (Process Mining: Una técnica innovadora para la mejora de los procesos, 2016). La segunda disciplina es Data Visualization, esta permite presentar los datos en un formato gráfico o pictórico ("Data Visualization: What it is and why it matters", 2016).

El proyecto implica principalmente investigación, en primer lugar, se analizan las técnicas de Process Mining y Data Visualization. En segundo lugar, se separan las características y cualidades de las disciplinas, y se diseña un modelo para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization, generando un valor agregado, dado que al tener un formato gráfico o pictórico que representa adecuadamente los resultados de usar una técnica de minería de procesos, la comprensión y el análisis en la toma de decisiones es más precisa. En tercer lugar, se valida el modelo en una institución que brinda servicios en el Sector Salud, analizando uno de los procesos core. Finalmente, se elabora un plan de continuidad para que el modelo propuesto se aplique en técnicas de optimización de procesos en las organizaciones.

Palabras clave: Minería de procesos; visualización de datos; Celonis; cuidado de la salud; procesos de negocio.

Model to evaluate variables in the Health Sector using Process Mining and Data Visualization

ABSTRACT

The present work proposes a model for the evaluation of variables in the health sector using Process Mining and Data Visualization supported by the Celonis tool. This arises from the problem oriented to the difficulty in understanding the activities that are involved in business processes and their results.

The project focuses on the investigation of two emerging disciplines. One of these disciplines is Process Mining and it focuses mainly on the processes, on the data for each event, this in order to discover a model, see conformity of the processes or improve them (Process Mining: An innovative technique for the improvement of the processes, 2016). The second discipline is Data Visualization, this allows data to be presented in a graphic or pictorial format ("Data Visualization: What it is and why it matters", 2016).

This project mainly involves research, first, Process Mining and Data Visualization techniques are analyzed. Second, the characteristics and qualities of the disciplines are separated, and a model is designed for the evaluation of variables in the Health Sector using Process Mining and Data Visualization, generating added value, given that by having a graphic or pictorial format that adequately represents the results of using a process mining technique, understanding and analysis in decision making is more accurate. Third, the model is validated in an institution that provides services in the Health Sector, analyzing one of the core processes. Finally, a continuity plan is drawn up so that the proposed model can be applied to process optimization techniques in organizations.

Keywords: Process mining; data visualization; healthcare; business process.

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.1	OBJETO DE ESTUDIO	3
1.2	DOMINIO DEL PROBLEMA	4
1.3	PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN	5
1.4	OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
1.5	INDICADORES DE ÉXITO	6
1.6	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
CAPÍTULO 2	STUNDETS OUTCOMES	14
2.1	ACREDITACIÓN EAC (ENGINEERING ACCREDITATION COMMISSION OF ABET)	15
2.1.1	Student Outcome A	15
2.1.2	Student Outcome B	15
2.1.3	Student Outcome C	16
2.1.4	Student Outcome D	17
2.1.5	Student Outcome E	17
2.1.6	Student Outcome F	18
2.1.7	Student Outcome G	18
2.1.8	Student Outcome H	19
2.1.9	Student Outcome I	19
2.1.10	Student Outcome J	20
2.1.11	Student Outcome K	20
2.2	ACREDITACIÓN CAC (COMPUTING ACCREDITATION COMMISSION OF ABET)	21
2.2.1	Student Outcome J	21
CAPÍTULO 3	MARCO TEÓRICO	22
	TRACE	23
	PROCESS MINING	23
	DATA VISUALIZATION	25
CAPÍTULO 4	DESARROLLO DEL PROYECTO	27

4.1	ANÁLISIS DEL CONTEXTO DEL PROYECTO	28
4.2	ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS Y ALGORITMOS	29
4.3	MODELO	37
4.4	HERRAMIENTA	44
4.5	EJECUCIÓN DEL MODELO	45
4.5.1	Fase de Extracción	45
4.5.2	Fase de Procesamiento de Eventos	45
4.5.3	Fase de Minería de Procesos	45
4.5.4	Fase de Visualización de Datos	49
4.5.5	Fase de Evaluación de Resultados	50
CAPÍTULO 5	RESULTADOS DEL PROYECTO	51
5.1	RESULTADOS	52
5.1.1	Descubrimiento	52
5.1.2	Control de Conformidad	56
5.1.3	Mejora	57
5.2	PLAN DE CONTINUIDAD	57
5.2.1	Adiestramiento	57
5.2.2	Consideraciones	57
5.2.3	Evolución del Modelo	57
CAPÍTULO 6	GESTIÓN DEL PROYECTO	58
6.1	PRODUCTO FINAL	59
6.2	GESTIÓN DEL TIEMPO	59
6.3	GESTIÓN DE LOS RECURSOS HUMANOS	61
6.4	GESTIÓN DE LAS COMUNICACIONES	63
6.5	GESTIÓN DE LOS RIESGOS	63
CONCLUSIONES		65
RECOMENDACIONES		66
GLOSARIO		67
BIBLIOGRAFÍA		68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Necesidad y Causas	4
Tabla 2: Descripción de los Indicadores de Éxito del Proyecto	6
Tabla 3: Plan de gestión del tiempo	10
Tabla 4: Tabla de Roles y Responsabilidades	11
Tabla 5: Tabla de riesgos.....	13
Tabla 6: Oportunidades de Mejora	29
Tabla 7: Comparación de Algoritmos de Process Mining.....	33
Tabla 8: Comparación de Herramientas de Process Mining	36
Tabla 9: Plan de gestión del tiempo modificado	61
Tabla 10: Tabla de riesgos.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Organigrama del Proyecto	11
Ilustración 2: Modelo para la Evaluación de Variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization	17
Ilustración 3: Modelo para la Evaluación de Variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization	37
Ilustración 4: Primer Proceso Descubierto	46
Ilustración 5: Proceso Descubierto considerando más Variantes	47
Ilustración 6: Flujograma del Proceso Documentado	48
Ilustración 7: Gráficos Elaborados en Base a la Información del Proceso.....	49
Ilustración 8: Gráfico de área de la Etapa de Conformance Checking.....	50
Ilustración 9: Proceso Descubierto	52
Ilustración 10: Cantidad de Cirugías por Tipo	53
Ilustración 11: Top 5 Cirugías Más Recurrentes	54
Ilustración 12: Distribución de Cirugías por Quirófano	54
Ilustración 13: OLAP Tables – Información del Proceso.....	55
Ilustración 14: Distribución de Encuentros por Mes	55
Ilustración 15: OLAP Table de la cantidad Máxima de Cirugías Realizadas en un Día.....	56
Ilustración 16: Gráficos de la Fase de Conformidad	56
Ilustración 17: Secuencia de actividades no coincidentes con el proceso documentado	56
Ilustración 18: Organigrama del proyecto	62

INTRODUCCIÓN

Entender y proponer mejoras en los procesos de negocios tan esenciales como los que se observan en instituciones del sector Salud públicas y privadas, un cambio afecta directamente a las personas y a su vez en casos de emergencia puede salvar su vida.

Ante esta situación, la investigación inicia en base a la necesidad de optimizar los procesos de negocios con nuevas disciplinas que permitan a los analistas comprender y tomar mejores decisiones analizando la información almacenada en los sistemas de información que manejan dichas instituciones.

El objetivo del proyecto es implementar un Modelo para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization para la optimización de procesos. En base a lo propuesto, se realizará la validación del Modelo propuesto aplicándolo en una institución que maneja una red de Clínicas en Lima, Perú.

La estructura de este documento se encuentra distribuida en seis capítulos:

En el capítulo uno, se describe el proyecto, cuál es su propósito, el problema principal que se trata de resolver, la solución, los objetivos e indicadores.

En el capítulo dos, describe cómo el proyecto se alinea con los Student Outcomes que, como Ingenieros de Sistemas de Información, debemos manifestar.

En el capítulo tres, se desarrollará el estado del arte, la cual es la base de la investigación para elaborar el modelo propuesto.

En el capítulo cuatro, se describe el marco teórico del proyecto.

En el capítulo cinco se describe el desarrollo de la validación del proyecto.

En el capítulo seis, se detalla todos los documentos de gestión del proyecto.

CAPÍTULO 1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se describen los aspectos generales del proyecto. Se enuncia la problemática, el objetivo general y los objetivos específicos, así como cuál es la solución propuesta junto a los indicadores de éxito, los cuales serán de utilidad para medir el cumplimiento del proyecto. De igual manera, se detallan los planes elaborados con base a la gestión del proyecto, los cuales son: Alcance de proyecto, Plan de Gestión del Tiempo, plan de Gestión de Recursos Humanos, Plan de Comunicaciones y el Plan de Gestión de Riesgos.

1.1 OBJETO DE ESTUDIO

El sector que es motivo de estudio es el sector Salud y engloba a las entidades públicas y privadas que brindan diversos servicios médicos a las personas. Ya que se identificaron un incremento en los reclamos por parte de los pacientes relacionados con la demora en la atención de citas, demora en la prestación de servicios, inadecuada prestación de servicios y demoras en la intervención quirúrgica (Essalud, 2014 – 2015). Estos procesos deben ser medidos y controlados constantemente ya que pueden prevenir la muerte de los pacientes, por ello se debe comprender como es que se comportan y cuales serias las principales mejoras a aplicar para poder brindar un mejor servicio.

El tema del proyecto es Modelo para la evaluación de variables en el sector salud utilizando Process Mining y Data Visualization; es decir, consta de definir un modelo que será validado en una institución que brinde servicios en el sector salud, este modelo será soportado por una herramienta de Process Mining que permita utilizar conceptos de Data Visualization con el propósito de comprender y analizar los procesos de negocio y los datos resultantes de estos. Este modelo se enfocará en realizar extraer información del proceso de Bloque de Cirugía de una clínica de Lima-Perú, pero esto no limita al modelo ya que puede ser aplicado en cualquier sector industrial.

1.2 DOMINIO DEL PROBLEMA

Los activos más importantes en la empresa son su personal y la información. Cada día surgen nuevas oportunidades de mejora con el propósito de mejorar la experiencia tanto del cliente como del personal y mejorar el rubro en el que se desenvuelven. Las nuevas tendencias y tecnologías son una pieza fundamental para hacer realidad estas mejoras, ya que permite al humano a trazarse nuevas metas y estas se ven reflejadas en las organizaciones como parte de una mejora continua. Como parte del proyecto realizado, se tomó como punto de partida la información histórica que almacenan los sistemas de información de las entidades del sector salud para dar pie a poder analizar los resultados almacenados y el cómo se llegan a estos, utilizando logs históricos.

Ya que permitirá comprender que es lo que está sucediendo en diversos procesos de negocio de las entidades, permitiéndonos monitorear cambios y desviaciones, mejorar la toma de decisiones e identificar anomalías de forma más eficiente en los procesos de negocio.

En el siguiente cuadro se detalla la necesidad y sus causas.

Necesidad	Causas
Analizar las técnicas de Minería de Procesos y Visualización de Datos con el propósito de generar un lineamiento estructural entre ellas.	<ul style="list-style-type: none">• Incertidumbre al aplicar técnicas de Descubrimiento de Modelo de Procesos.• Ausencia de conceptos en la aplicación de las disciplinas de Minería de Procesos y Visualización de Datos.

Tabla 1: Necesidad y Causas

Fuente: Elaboración propia

1.3 PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN

La solución que el proyecto plantea es la elaboración de un modelo de referencia soportado por la herramienta Celonis, para la evaluación de procesos de negocio. La aplicación del modelo propuesto permitirá comprender tanto el proceso como los resultados de este, e identificar patrones, tendencias y anomalías de forma más eficiente en los procesos estudiados. Asimismo, esto permitirá monitorear si las reglas y controles del negocio se están respetando o si un cambio en el proceso está obteniendo los resultados esperados.

Con este proyecto, se quiere evidenciar que la aplicación de las técnicas de Process Mining y Data Visualization se pueden trabajar de forma conjunta y permitir optimizar los procesos de negocio soportados por herramientas de sistemas de información en instituciones en el Sector Salud.

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

- **Objetivo General**

Implementar un Modelo de referencia para la evaluación de variables en el sector salud utilizando Process Mining y Data Visualization.

- **Objetivos Específicos**

Para lograr cumplir la propuesta del objetivo general, se establecieron cuatro objetivos específicos, los cuales están enfocados a cada fase del proyecto.

- OE1: Analizar las técnicas de Process Mining y Data Visualization que permitan una interacción entre ambas disciplinas.
- OE2: Diseñar el Modelo de referencia para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.
- OE3: Diseñar el Modelo de referencia para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.
- OE4: Proponer un plan de continuidad para que el Modelo propuesto se aplique en técnicas de optimización de procesos en las organizaciones.

1.5 INDICADORES DE ÉXITO

Los indicadores de éxito definidos para medir el logro de cada uno de los objetivos específicos previamente planteados son los siguientes:

Objetivos	Indicador de Éxito	Objetivo Específico
<i>IE1</i>	Aprobación, por parte del cliente, del análisis de técnicas de Process Mining y Data Visualization.	OE1
<i>IE2</i>	Aprobación, por parte del cliente, del Modelo de referencia para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.	OE2
<i>IE3</i>	Aprobación, por parte del especialista, de la validación del Modelo de referencia para la evaluación de variables aplicado en una Institución que ofrezca servicios en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.	OE3
<i>IE4</i>	Aprobación del plan de continuidad del proyecto para el modelo de referencia propuesto, por parte del cliente.	OE4

Tabla 2: Descripción de los Indicadores de Éxito del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

1.6 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

La planificación del proyecto está enfocada en realizar una gestión eficiente del mismo, tomando en cuenta el tiempo asignado para las actividades, los recursos necesarios a emplear, humanos y materiales, limitaciones del proyecto, riesgos, entre otros. Con el propósito de otorgar una visión completa de los aspectos que aborda el proyecto, a continuación, se detalla los siguientes planes: Plan de Gestión de Alcance, Plan de Gestión de Tiempo, Plan de Gestión de Recursos Humanos, Plan de Comunicaciones y Plan de Gestión de Riesgos.

1.6.1 Alcance

El alcance del proyecto abarca respectivamente los siguientes puntos:

1. Los entregables a realizar a lo largo del proyecto tienen como base la metodología de gestión de proyectos de PMBOK.
2. La realización de la Memoria de Tesis.
3. La investigación está enfocada en el análisis de las técnicas de Minería de Procesos y Visualización de Datos.
4. Proponer un plan de continuidad del proyecto.

Para la fase de Planificación se han establecido los siguientes entregables, relacionados a la Administración del Proyecto.

- Cronograma
- Descripción de Roles y Responsabilidades
- Diccionario EDT
- Matriz de Comunicaciones
- Matriz de Riesgos
- Matriz RAM
- Plan de Gestión de Alcance
- Plan de Gestión de Calidad
- Plan de Gestión de Comunicaciones
- Plan de Gestión de Riesgos
- Plan de Gestión de RRHH
- Plan de Gestión del Cronograma
- Registro de Interesados

La fase de ejecución está compuesta de los entregables propios de la investigación y solución del proyecto;

- a. Documento de Análisis de las Técnicas de Process Mining y Data Visualization, y Herramientas de Process Mining.
- b. Documento de Diseño del Modelo de Referencia para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.
- c. Documento de Resultados de la Validación del Modelo de Referencia en una institución que brinde servicios en el Sector Salud.

d. Documento de Plan de continuidad para el modelo de referencia propuesto.

La fase de cierre del proyecto se encuentra compuesta de los entregables finales del proyecto:

- Plan de continuidad del modelo de referencia propuesto.
- Acta de Aceptación y Cierre.
- Memoria Final del Proyecto.
- Poster del proyecto.
- Paper.

1.6.2 Plan de Gestión del Tiempo

Está orientado a gestionar el tiempo que se emplea en el proyecto para lograr el cumplimiento de las actividades establecidas en el cronograma. A continuación, se detallan las fechas de entrega que han sido planificadas para los entregables del proyecto, según las fases acordadas.

Fase del Proyecto	Hito del proyecto	Fecha Estimada	Entregables incluidos	Prioridad
Inicio	Aprobación del Project Charter por parte del comité de dirección, Desarrollo historias de usuario y Alineamiento de Proyecto con los Outcomes de ABET	Semana 1-3 2018-01	Project Charter Plan de Trabajo Memoria del Proyecto (Capítulo 2 - Student Outcomes)	Alta
Planificación	Aprobación del Marco Teórico, Artefactos del OM, Anexo B y los Documentos de Gestión	Semana 4-9 2018-01	Memoria del Proyecto (Capítulo 4 – Marco Teórico) Memoria del Proyecto (Capítulo 7 – Artefactos de PM) Documentos de Gestión	Alta

Ejecución	Aprobación del Estado del Arte y Finalización del Objetivo 1	Semana 10-12 2018-01	<p>Estado del Arte (Capítulo 3 – Estado del Arte)</p> <p>Documento de Análisis de las Técnicas de Process Mining y Data Visualization, y Herramientas de Process Mining.</p> <p>Documento de Diseño del Modelo de Referencia para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.</p>	Alta
Cierre	Presentación del Cap. 5 Desarrollo del Proyecto, Objetivo 3 y Cartera de Proyectos	Semana 1-9 2018-02	Memoria del Proyecto (Capítulo 5 – Desarrollo del Proyecto)	Alta
	Presentación de Costos y Presupuestos, Objetivo 4, Resultados del Proyecto	Semana 10-12 2018-02	<p>Anexo C - Costos y Presupuestos</p> <p>Memoria del Proyecto (Capítulo 5 – Resultados del Proyecto)</p>	Alta

	Aprobación del Capítulo 2 - Student Outcomes y Memoria Final del Proyecto por parte del Comité de Proyecto	Semana 13-16 2018-02	Memoria final del Proyecto	Alta
--	---	----------------------------	-------------------------------	------

Tabla 3: Plan de gestión del tiempo

Fuente: Elaboración propia

1.6.3 Plan de Gestión de Recursos Humanos

Tiene como fin identificar a los involucrados en el proyecto, está compuesto por la organización, equipo de trabajo y los recursos internos o externos que serán parte para el cumplimiento de las actividades planificadas. Adicionalmente, se detallan los roles y responsabilidades que cumplen a lo largo del desarrollo del proyecto.

Rol	Miembro	Responsabilidades
Comité de Proyectos	Rosario Villalta Jimmy Armas Luis Vives Pedro Shiguihara	<ul style="list-style-type: none"> • Aprobar proyectos profesionales. • Monitorear el cumplimiento de los entregables • Evaluar el avance del proyecto. • Aprobar la continuidad de proyecto.
Cliente	Jimmy Armas	<ul style="list-style-type: none"> • Brindar los requerimientos. • Otorgar la conformidad de los entregables del proyecto. • Aprobar el modelo final que se proporcionará. • Asesorar a los Project Managers.
Portfolio Manager	Daniel Burga	<ul style="list-style-type: none"> • Gestionar los proyectos, y las diferentes actividades que tiene asignadas dentro de la empresa virtual InnovaTI. • Facilitar la comunicación entre las empresas involucradas. • Resolver, adecuadamente, cualquier incidente que esté dentro de su ámbito sin afectar los

		intereses ni la imagen de la Escuela.
Project Managers	Andre Coronado Misael Evangelista	<ul style="list-style-type: none"> • Gestionar, según el Project Management Body Of Knowledge, el proyecto profesional, siguiendo los lineamientos de la Dirección de Proyectos durante todos sus procesos. • Coordinar reuniones con el Cliente y el Profesor Gerente. • Administrar, eficientemente, todos los recursos asignados a su cargo. • Realizar cualquier actividad que pudiese ser solicitada por su Portfolio Manager, por el Senior Portfolio Manager, por el Director de la PMO y por el Comité de Proyectos de la Escuela.

Tabla 4: Tabla de Roles y Responsabilidades

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 1: Organigrama del Proyecto

1.6.4 Plan de Comunicaciones

Este plan tiene como objetivo acordar criterios para la comunicación, interna y externa, del proyecto, con el propósito de informar a los involucrados los avances y eventualidades que puedan surgir durante el desarrollo del mismo.

Además, permite normalizar las formas de comunicación, con lo cual, será de conocimiento por parte de equipo de proyecto, los procedimientos y medios de comunicación a usarse según se requiera

Ver Anexos:

- Anexo 1: Matriz de Comunicaciones v1.1.docx

Todas las reuniones deben seguir las siguientes pautas:

- Se manejará una agenda para cada reunión según los temas a tratar, así como también las tareas pendientes de previas reuniones. Para este caso, se debe tener en cuenta el entregable a realizar según el diccionario EDT.
- Cada actividad listada en la agenda tiene un cuenta con un nivel de prioridad para ser tratado.
- Cada reunión tiene un horario establecido, sin embargo, será necesario validar la reunión vía correo electrónico con la persona involucrada.
- En caso se postergue la reunión, se deberá acordar la nueva fecha con su respectiva justificación.
- Todas las actas de reunión deberán ser firmadas por el jefe de proyecto, asistente de proyecto y gerente general o cliente, respectivamente

1.6.5 Plan de Gestión de Riesgos

Este plan tiene como objetivo identificar los posibles riesgos durante el desarrollo del proyecto, de tal manera se establece el impacto y la criticidad de los mismos, con lo que se plantea estrategias de mitigación ante la posible materialización del riesgo.

La siguiente tabla detalla los riesgos identificados, su probabilidad y su impacto en el proyecto:

#	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Estrategia de mitigación
1	Cambio de profesor cliente del proyecto.	Muy Baja	Muy Alto	Mantener comunicación constante con el cliente y presentarle por fases entregables de valor.
2	Escasez de información relacionada a las disciplinas estudiadas en el proyecto de investigación.	Media	Medio	Realizar una búsqueda constante información en bases de datos bibliográficas
3	Cambio en el alcance del proyecto.	Media	Alto	Se realiza el Project Charter y el documento de Gestión de Alcance para que sea aprobado por el cliente.
4	El departamento de TI de la universidad no brinda la información necesaria	Baja	Alto	Conversar con los profesores de la facultad de la universidad para que estos puedan ayudarnos a obtener la información.

Tabla 5: Tabla de riesgos

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 2 STUNDETS OUTCOMES

En este capítulo se describirán los objetivos cumplidos por parte de los estudiantes, los cuales se justifican por medio de diversas actividades y entregables que se planificaron y desarrollaron a lo largo del ciclo del proyecto.

2.1 Acreditación EAC (ENGINEERING ACCREDITATION COMMISSION OF ABET)

2.1.1 Student Outcome A

La capacidad de aplicar el conocimiento de las matemáticas, la ciencia y la ingeniería.

Describe como el profesional tiene la capacidad de aplicar los conocimientos concebidos a lo largo de los estudios universitarios; es decir, busca la aplicación de sus conocimientos en ciencias exactas como matemáticas, cursos de carrera o ingeniería.

Tomando en cuenta la descripción anterior, realizó el estudio y desarrollo del benchmarking de herramientas técnicas de Process Mining de forma cuantitativa y cualitativa, el resultado obtenido fue la herramienta identificada que más se alineaba al modelo propuesto. En la fase de validación del modelo propuesto se extrajeron datos y se tuvieron que comprender conceptos utilizados en el sector salud para su posterior análisis y aplicación en el modelo.

Estas actividades que son aplicados incluyen los conceptos aprendidos de Ingeniería de Sistemas, principios matemáticos y de computación para poder elaborar un modelo para la detección de variables utilizando Process Mining y Data Visualization para identificar cómo estas impactan en las organizaciones.

Evidencias:

- Capítulo 5 – Benchmarking de Técnicas y Herramientas
- Capítulo 5 - Diseño del Modelo de Referencia Propuesto

2.1.2 Student Outcome B

La capacidad de diseñar y realizar experimentos, así como de analizar e interpretar datos.

El modelo propuesto se diseñó tomando como referencia diversos artículos académicos relacionados con las disciplinas de Process Mining y Data Visualization, a su vez se tuvo que analizar e interpretar los resultados generados en los diversos artículos con el propósito identificar los óptimos y aplicables. Este modelo se validó aplicándolo a una organización del sector salud en el Perú, la cual nos brindó información relacionada a sus

procesos de negocios, al aplicar el modelo se obtuvieron patrones, tendencias y cuellos de botellas con los cuales se elaboró un diagnóstico para su mejora.

Evidencias:

- Capítulo 5 – Fase de Evaluación de Resultados
- Capítulo 6 – Resultados del Proyecto

2.1.3 Student Outcome C

La capacidad de diseñar un sistema, componente o proceso para satisfacer las necesidades deseadas con restricciones realistas tales como económica, ambiental, social, política, ética, de salud y seguridad, de fabricación y de sostenibilidad.

Describe la forma en la cual el profesional propone y diseña una propuesta de sistemas basado en la realidad actual de las entidades de salud en sus diversos aspectos de servicios.

El proyecto brindará un aporte científico, puesto que, por un lado, se identificaron las deficiencias que presentan los procesos de negocios entidades del sector salud, con esta necesidad identificada, se diseñó un modelo para la evaluación de variables utilizando las disciplinas Process Mining y Data Visualization que permitirán realizar un mejor diagnóstico de los procesos, transformando los datos resultantes del Process Mining con técnicas de Data Visualization para reducir la brecha de entendimiento de información. Por otro lado, los resultados de la investigación podrán ser usados como referencia o base de futuras investigaciones.

Evidencia:

- Capítulo 5 - Diseño del Modelo de Referencia Propuesto

Ilustración 2: Modelo para la Evaluación de Variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization

2.1.4 Student Outcome D

La capacidad de funcionar en equipos multidisciplinarios.

Hace referencia a la capacidad de realizar trabajos y reuniones con profesionales de diferente campo de aplicación. Por ello durante el proyecto se realizó diversas actividades que requirieron la participación de estudiantes, especialistas de la institución del sector salud, y a su vez se establecieron reuniones con el Profesor Gerente y Cliente durante todo el desarrollo del Proyecto.

Para la validación de los entregables del proyecto se tuvo que interactuar con estudiantes de Ingeniería de Sistemas de Información ya que ellos eran los responsables, a su vez, para la validación del modelo se tuvo que coordinar con diversos expertos especializados en las disciplinas de Process Mining y Data Visualization.

Evidencias:

- Actas de Reunión
- Actas de Validación de Entregables

2.1.5 Student Outcome E

Una capacidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.

Permite identificar las necesidades actuales y proponer soluciones a problemas que involucren el uso de temas de ingeniería. Al inicio del proyecto, se identificó la necesidad que tienen los analistas de procesos para identificar deficiencias y entender cómo funcionaban los procesos de negocios de forma más rápida e intuitiva. Luego de diversas investigaciones se llegó a la conclusión de que la utilización cross funcional de las disciplinas de Process Mining y Data Visualization brindaran un mejor entendimiento de los procesos mediante representaciones gráficas con el propósito de tener un análisis completo del proceso desde todas las variables involucradas.

Evidencias:

- Capítulo 1 – Descripción del Proyecto.
- Capítulo 3 – Estado del Arte

2.1.6 Student Outcome F

Una comprensión de la responsabilidad profesional y ética

Se debe considerar que para realizar el proyecto se deben cumplir con los aspectos de confidencialidad y la responsabilidad relacionada a los tiempos.

Así mismo, este punto se cumplió mediante el uso de citas y referencias bibliográficas en los diversos documentos generados durante el proyecto utilizando el formato internacional APA, respetando así la propiedad intelectual de todos los autores. Además, en las presentaciones del proyecto se mencionaron las fuentes que se utilizaron para dar soporte al proyecto, preservando la propiedad intelectual de los autores.

Evidencias:

- Capítulo 3 – Estado del Arte
- Capítulo 4 – Marco Teórico
- Actas de Reunión

2.1.7 Student Outcome G

Comunica ideas o resultados de manera oral o escrita con claridad y efectividad

Para desarrollar el proyecto las ideas y conceptos se plasmaron en entregables con el propósito de respaldar la investigación realizada, así mismo, dado que la comunicación es muy importante al momento de desarrollar un proyecto, se tienen que tomar ciertas medidas de control. En primer lugar, se hizo uso de actas de reunión tanto con el gerente, como con el cliente de los acuerdos semanales; en segundo lugar, se empleó también las actas de conformidad una vez realizado un entregable.

Evidencias:

- Actas de Reunión
- Actas de Conformidad
- Documentos de Gestión

2.1.8 Student Outcome H

La amplia educación necesaria para comprender el impacto de las soluciones de ingeniería en un contexto global, económico, ambiental y social

En este punto, se pudo entender cómo las diversas variables dentro de un proceso de negocio pueden ser comprendidas de forma más dinámica utilizando las disciplinas de Process Mining y Data Visualization, y como estas generan un impacto positivo dentro de los procesos en las organizaciones, indistintamente del sector al que pertenezca. El diagnóstico de estos procesos permitirá a un usuario tener la posibilidad de realizar un mejor análisis la información comprendiendo así el impacto en los costos relacionados por un mal funcionamiento de estos.

Evidencias:

- Capítulo 5 – Desarrollo del Proyecto
- Capítulo 6 – Resultados del Proyecto

2.1.9 Student Outcome I

Un reconocimiento de la necesidad y la capacidad de participar en el aprendizaje de por vida

El cumplimiento de este outcome se puede demostrar, manteniendo una búsqueda constante de información relacionada a las disciplinas en artículos de investigación con

el propósito de construir una base para la elaboración del modelo propuesto en el presente proyecto. Se permanece en búsqueda de nuevas técnicas, métodos o algoritmos que puedan aparecer de las disciplinas estudiadas y permitan desarrollar a las instituciones del sector salud con el propósito de brindar un mejor servicio a sus asegurados.

Evidencias:

- Capítulo 3 – Estado del Arte
- Capítulo 5 – Benchmarking de Técnicas y Herramientas

2.1.10 Student Outcome J

Un conocimiento de los problemas contemporáneos

Se identifica la creciente necesidad que tienen las instituciones del sector por entender sus procesos, automatizarlos y que estos tengan una mejora continua en base a la revisión de la documentación publicada, sobre ello se elabora el modelo propuesto. Asimismo, la cantidad de información que se almacena crece exponencialmente y esto hace necesario que se utilicen nuevas técnicas y disciplinas para que la información pueda comprenderse de forma óptima y eficiente.

Finalmente, el artículo de investigación elaborado resume el estudio realizado en el proyecto permitiéndonos constatar analizar los hechos de mundo contemporáneo y evaluar el impacto del modelo propuesto.

Evidencias:

- Capítulo 1 – Descripción del Proyecto
- Capítulo 3 – Estado del Arte
- Paper

2.1.11 Student Outcome K

La capacidad de utilizar las técnicas, habilidades y herramientas de ingeniería modernas necesarias para la práctica de la ingeniería.

Durante el proyecto se usaron técnicas y herramientas modernas, para poner en práctica la ingeniería en el proceso de desarrollo del proyecto del modelo propuesto. Asimismo,

podemos mencionar que para la implementación del proyecto se hace uso de una metodología ágil. En segundo lugar, se indaga una disciplina que no ha sido explorada a profundidad que es la de Process Mining y, además, se determinó usar los lineamientos propuestos por PMBOK para la elaboración de los documentos de gestión.

Evidencias:

- Capítulo 1 – Benchmarking de Herramientas y Tecnicas
- Capítulo 3 – Estado del Arte
- Documentos de Gestión

2.2 ACREDITACIÓN CAC (COMPUTING ACCREDITATION COMMISSION OF ABET)

2.2.1 Student Outcome J

Comprende y brinda soporte para el uso, entrega y gestión de sistemas de información dentro de un entorno de sistemas de información.

Durante la última etapa del proyecto se elaboraron documentos para asegurar la continuidad del proyecto. Para constatar dicha continuidad a futuro, se elaboró un manual de uso de la herramienta utilizada y una propuesta del plan de continuidad para el modelo propuesto. Con el fin de que el modelo perdure y se adapte en el tiempo.

Evidencias:

- Manual de Uso
- Plan de Continuidad

CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO

El presente capítulo se describe el marco teórico bajo el cual se fundamenta esta tesis. En este se abordan conceptos de Registro de Eventos, Minería de Procesos y Visualización de Datos.

Event Log

Un registro de eventos es un conjunto de ejecuciones de procesos de un proceso comercial. Este conjunto contiene una gran cantidad de información relacionada con varias perspectivas, como la perspectiva de flujo de control (ordenamiento de actividades), la perspectiva organizacional (organización de recursos), la perspectiva de rastreo (frecuencia de actividades) y la perspectiva del rendimiento (actuaciones en el tiempo) (Appice, A. & Malerba, D., 2015).

Este conjunto de trazas, cada una de las cuales consiste en la secuencia de registros de eventos producidos por una ejecución del proceso. Un evento denota el inicio, el final, el aborto u otro cambio de estado relevante de una tarea. Como mínimo, un registro de evento contiene una marca de tiempo, un identificador del caso al que se refiere el evento y una clase de evento, es decir, una referencia a una tarea en el proceso comercial (García-Bañuelos, L., van Beest, N., Dumas, M., La Rosa, M. & Mertens, W., 2017). Además, un evento contiene información adicional o atributos como marca de tiempo, costo, tipo de evento, recursos, elementos de datos, etc. (Oussama Kherbouche, M., Laga, N. & Masse, P., 2017).

Trace

Una traza se define como una lista ordenada de actividades invocadas por una ejecución de proceso desde el comienzo de su ejecución hasta el final (Appice, A. & Malerba, D., 2015).

Process Mining

La minería de procesos es una disciplina que permite detectar desviaciones, predecir demoras, respaldar la toma de decisiones y recomendar rediseños de procesos. Esta disciplina se puede usar para medir la conformidad de las trazas con un modelo de proceso prescrito (real) o para mejorar un modelo de proceso conocido con información adicional extraída de los registros de eventos (Appice, A. & Malerba, D., 2015).

El objetivo de esta disciplina es extraer conocimiento sobre los procesos de negocio a partir de los registros de eventos (Pika, A., Leyer, M., Wynn, M., Fidge, C., Ter Hofstede, A. & Van Der Aalst, W., 2017). Los métodos de minería de procesos permiten a los analistas comprender cómo se ejecuta realmente un proceso de negocio sobre el sistema de software, y detectar las desviaciones con respecto a los objetivos de rendimiento o las

ejecuciones normativas (García-Bañuelos, L., van Beest, N., Dumas, M., La Rosa, M. & Mertens, W., 2017).

La minería de procesos está compuesta por tres tipos: Descubrimiento, Conformidad y Mejora, estos tres tipos serán explicados respectivamente:

- **Discovery:**

El descubrimiento de procesos está orientado a generar un buen modelo de proceso que represente el comportamiento observado capturado en un registro de eventos. Existen muchos enfoques de descubrimiento en la literatura, como el algoritmo alfa que hace uso de ordenar relaciones de actividades, Heuristic Miner que descubre el comportamiento principal de troncos ruidosos, Fuzzy Miner que atiende procesos menos estructurados y admite diferentes niveles de abstracciones, Generic Miner que equilibra los diferentes criterios de calidad, Inductive Miner que descubre modelos de ruido, ajuste y estructura de bloque y la técnica de descubrimiento sobre las restricciones de precedencia. Estos algoritmos varían en términos de los tipos de registros que pueden manejar con eficacia y la calidad de los modelos descubiertos (Polyvyanyy, A., Van Der Aalst, W., Ter Hofstede, A. & Wynn, M., 2017).

- **Conformance:**

El objetivo de la conformidad es identificar las diferencias entre el comportamiento observado en el registro de eventos y el modelo de proceso real o mapeado; permite identificar tanto el comportamiento inadecuado observado en el registro que no se ajusta al modelo real, como el comportamiento adicional observado en el modelo, pero no en el registro de eventos.

Este tipo de minería de procesos permite a los analistas supervisar el uso de un sistema por parte de los responsables del proceso para detectar desviaciones no deseadas, alinear el modelo para reflejar la realidad o aplicar ingeniería inversa a un modelo preciso del proceso que se está ejecutando en la parte superior del sistema (García-Bañuelos, L., van Beest, N., Dumas, M., La Rosa, M. & Mertens, W., 2017).

La conformidad tiene diversas aplicaciones, se puede usar para auditar procesos, para evaluar si el proceso real observado se ajusta a algún modelo descriptivo, ya que las desviaciones entre los procesos modelados y reales pueden indicar casos fraudulentos y prácticas de proceso mal diseñadas (Polyvyanyy, A., Van Der Aalst, W., Ter Hofstede, A. & Wynn, M., 2017).

- **Enhancement**

El objetivo es ampliar o mejorar un modelo de proceso existente utilizando información sobre el proceso real registrado en algún registro de eventos. En comparación con la verificación de conformidad que mide la alineación entre el modelo y la realidad, este tercer tipo de minería de procesos tiene como objetivo cambiar o ampliar el modelo a priori. Un tipo de mejora es la reparación, es decir, la modificación del modelo para reflejar mejor la realidad, por ejemplo, si dos actividades se modelan secuencialmente, pero en realidad pueden suceder en cualquier orden, entonces el modelo se puede corregir para reflejar esto. Otro tipo de mejora es la extensión, que agregar una nueva perspectiva al modelo de proceso al correlacionar la cruzadamente con el registro, por ejemplo, al usar marcas de tiempo en el registro de eventos del proceso de "solicitud de compensación", se puede ampliar para mostrar cuellos de botella, niveles de servicio, tiempos de rendimiento y frecuencias. De forma similar, se puede ampliar con información sobre recursos, reglas de decisión, métricas de calidad, etc. (Wil van der Aalst, 2016)

Data Visualization

La visualización de datos es una disciplina que permite a los usuarios a acelerar la velocidad de adquisición de conocimiento ya que utiliza gráficos e imágenes para caracterizar datos. Es más fácil entender los gráficos y las imágenes de forma relativamente intuitiva ya que revelarán gran una variedad de información (Liu, Q., Guo, X., Fan, H. & Zhu, H., 2017).

Según Ahmed (2017), esta disciplina tiene como objetivo poner en contacto los datos de forma clara y efectiva a través de la representación gráfica ya que descubre y mantiene las relaciones entre los puntos que no se pueden observar desde el punto de vista numérico (Ahmed, B., Najim, S. & Mansour, W., 2017). Adicionalmente, Quin (2018) concuerda en que el objetivo de la visualización de datos es comunicar información de manera clara y efectiva a través de medios gráficos (Qin, X., Luo, Y., Tang, N. & Li, G., 2018).

La visualización de datos le proporciona al usuario más conocimiento sobre los datos brutos que se recopilan de la variedad de fuentes y esta se puede interpretar utilizando los paneles, donde el texto no detectado, los patrones y las correlaciones se pueden visualizar fácilmente mediante herramientas de visualización (Panimalar, A., Khule, K., Karthika

& Kumari, N., 2017). La disciplina tiene diversos aportes en las organizaciones, alguna de estas son las siguientes:

- **Mejora en la toma de decisiones:**

Ayuda a la organización a ver su posición y el proceso llevado por la misma. De acuerdo con la visualización y análisis de datos, la alta dirección puede tomar mejores decisiones y a su vez pueden cambiar su flujo de negocios de acuerdo con la interpretación que tenga la dirección de los gráficos.

- **Mejora del Retorno de Inversión (ROI):**

Pueden aumentar el ROI de la empresa al conocer de su flujo comercial. Una vez que se realiza el proceso de análisis, la visualización le da a la empresa una idea clara de su error. Al rectificar, la compañía puede tener su aumento en el retorno de la inversión.

- **Intercambio de información:**

La visualización de datos ayuda a la compañía a obtener conocimiento sobre su flujo de negocios. Juega un papel vital en la mejora del proceso para obtener información de los datos brutos y puede compartirlos para evitar conceptos erróneos.

- **Ahorro de tiempo:**

Utilizar esta disciplina en la empresa ayuda a identificar el problema de forma más rápida mediante la recuperación y representación de información precisa de los datos en un lapso de tiempo corto, permitiendo la toma de medidas inmediatas.

CAPÍTULO 4 DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo, se describen los entregables desarrollados en el presente proyecto. Estos representan las etapas trabajadas para la validación del Modelo de Referencia y los respectivos resultados.

4.1 Análisis del Contexto del Proyecto

4.1.1 Descripción General

En este apartado, se especifica el análisis del entorno donde se realizó el proyecto, con el objetivo de describir en qué condiciones y cómo se desarrolló el caso de estudio, la propuesta y oportunidad de mejora, el modelo de referencia y la validación del modelo.

4.1.2 Análisis del Negocio

4.1.2.1 Descripción

Para la implementación de este proyecto, se propuso a realizar el desarrollo de una solución para el sector salud con el fin de apoyar en la mejora de los procesos que se tienen dentro de este sector.

Es importante mencionar que, para la fase de validación del proyecto, se estudiará principalmente el proceso de bloque de cirugía debido a que es soportado en gran parte por los sistemas de información que usa la empresa.

4.1.2.2 Antecedentes

AUNA es una red peruana de centros de Salud, reconocida a nivel nacional por brindar lo mejor en servicios médicos a los peruanos, es por este motivo que en esta institución se realizó la validación del modelo. Esta gran red, cuenta con clínicas que ofrecen los servicios generales y además cuenta con clínicas especializadas en tratamientos oncológicos.

4.1.2.3 Descripción del Problema

Pese a que en la empresa ya se realizan ciertos tipos de análisis de la información que disponen, estos no son suficientes puesto que se basan en los resultados del proceso y no en el estudio de este de principio a fin, dejando así datos importantes para reconocer patrones y tendencias. Para la empresa es importante conocer si el proceso documentado se respeta, conocer las cirugías recurrentes, la capacidad operativa, las tendencias por tipo de cirugía y la cantidad de cirugías que realizan los quirófanos.

4.1.2.4 Oportunidades de Mejora

Para la entidad AUNA, se encuentran algunas oportunidades de mejora a tomar en cuenta con respecto a su proceso de bloque de cirugía, para poder obtener un mejor análisis, estos son:

N°	OPORTUNIDADES DE MEJORA
1	Integrar los todos los procesos en un HIS.
2	Registrar en sistema los tiempos de todas las actividades realizadas.
3	Registrar en sistema los tipos de usuario que realizan las actividades.

Tabla 6: Oportunidades de Mejora

Las oportunidades que se han detallado permitirán a la empresa tener más información de sus procesos, consecuentemente, de ser estudiada la información, se tendrá un mejor control y monitoreo de cada uno de estos.

4.2 Análisis de las Herramientas y Algoritmos

4.2.1 Descripción

En este apartado se detalla el análisis realizado para poder comparar los principales algoritmos de Process Mining, además del análisis de las principales herramientas que permiten utilizar la disciplina mencionada.

4.2.2 Análisis

4.2.2.1 Algoritmos de Process Mining

Algoritmos	Descripción	Sector	Etapas del Proceso	Aptitud/Ajuste(f)	Precisión(p)	Simplicidad(s)	Generalización(g)
Alpha Miner	Descubre una red de Petri. Rápido, pero los resultados no siempre son confiables debido a problemas de sobreajuste	Retail	Se desarrolla un método que consta de 6 fases, donde el algoritmo es usado en la tercera, cuarta y quinta etapa que son: descubrimiento y análisis de conformidad, integración de modelos y diagnóstico y rediseño respectivamente	0.934	0.614	0.942	0.871
		Financiero	Aplicado en la fase de Resultados de Descubrimiento de Procesos				
Heuristic Miner	Descubre una red heurística utilizando un enfoque probabilístico. Bueno cuando se trata de ruido. Rápido	Retail	Se desarrolla un método que consta de 6 fases, donde el algoritmo es usado en la tercera, cuarta y quinta etapa que son: descubrimiento y análisis de conformidad, integración de modelos y diagnóstico y rediseño respectivamente	0.95	0.955	0.893	0.813
		Salud / Sanitario	Se aplica una metodología de 5 fases, es en la última fase, llamada Análisis del flujo de actividades, donde se selecciona el algoritmo y se obtiene el modelo				

		Salud Sanitario /	Se define un proceso conformado por 7 tareas, en la segunda tarea es donde se aplica el algoritmo				
		Financiero	Aplicado en la fase de Resultados de Descubrimiento de Procesos				
Inductive Miner	<p>Descubre un árbol de procesos o una red de Petri.</p> <p>Bueno cuando se trata de comportamiento infrecuente y grandes registros. La solidez está garantizada</p>	Salud Sanitario /	Se propone un framework compuesto por bloques, en el cual se hace uso de los algoritmos en el Bloque de Process Model Extraction	0.81	0.81	0.626	0.746
Fuzzy Miner	<p>Descubre un modelo borroso</p> <p>Bueno cuando se trata de un comportamiento no estructurado.</p> <p>Rápido</p>	Retail	Se desarrolla un método que consta de 6 fases, donde el algoritmo es usado en la tercera, cuarta y quinta etapa que son: descubrimiento y análisis de conformidad, integración de modelos y diagnóstico y rediseño respectivamente	0.95	0.9	0.893	0.95

Genetic Miner	<p>Descubre una red heurística utilizando algoritmos genéticos.</p> <p>Dependiendo de la configuración de los parámetros, puede ser lento o rápido</p>	Salud Sanitario	Se aplica una metodología de 5 fases, es en la última fase, llamada Análisis del flujo de actividades, donde se selecciona el algoritmo y se obtiene el modelo	0.939	0.853	0.734	0.683
		Retail	Se desarrolla un método que consta de 6 fases, donde el algoritmo es usado en la tercera, cuarta y quinta etapa que son: descubrimiento y análisis de conformidad, integración de modelos y diagnóstico y rediseño respectivamente				
		Financiero	Aplicado en la fase de Resultados de Descubrimiento de Procesos				
Evolutionary Tree Miner	<p>Descubre un árbol de procesos usando algoritmos genéticos guiados basados en las dimensiones de calidad del modelo.</p> <p>Garantiza la solidez, pero no</p>	Financiero	Aplicado en la fase de Resultados de Descubrimiento de Procesos	0.934	0.992	0.962	0.917

	puede representar todos los comportamientos posibles debido a su naturaleza estructurada por bloques						
ILP Miner	Descubre una Red de Petri al resolver problemas de Programación Lineal Integer (ILP). El resultado tiene una aptitud perfecta, pero en general una precisión deficiente. Lento en registros grandes	Financiero	Aplicado en la fase de Resultados de Descubrimiento de Procesos	1	0.633	0.893	0.839

Tabla 7: Comparación de Algoritmos de Process Mining

En primer lugar, debemos considerar que la aplicación de un algoritmo de Process Mining permite identificar principalmente cuatro medidas. La primera es Aptitud o Ajuste, medida para determinar cuán bien un modelo dado se ajusta al comportamiento observado en el registro de eventos. Un modelo tiene un ajuste perfecto si todas las trazas en el registro de eventos pueden ser reproducidas por el modelo de principio a fin. La segunda es Precisión, medida para determinar si el modelo prohíbe un comportamiento muy diferente al comportamiento observado en el registro de eventos. Un modelo con baja precisión es “sobreajustado”. La tercera es Simplicidad, medida que pone demostrar el modelo más simple que pueda explicar el comportamiento observado en el registro de eventos, es el mejor modelo. La simplicidad se puede cuantificar de distintas maneras, por ejemplo, la cantidad de nodos y arcos en el modelo. La cuarta es Generalización, medida para determinar cuán bien el modelo es capaz de describir comportamiento desconocido. Un modelo con “sobreajuste” no es capaz de generalizar lo suficiente.

En segundo lugar, se podido reconocer que la disciplina de Process Mining ha sido utilizado en diversos sectores, como Salud, Retail y Financiero, obteniéndose resultados favorables en cada uno de ellos. Primero, en el sector Salud se han usado principalmente 4 algoritmos, estos son Inductive Miner, Genetic miner, Heuristic Miner y Fuzzy Miner, siendo este último el que mejores resultados ha tenido en el sector. Segundo, para el sector de Retail se ha usado el Alpha Miner, Heuristic Miner, Genetic Miner y Fuzzy Miner, entre los cuales, el que mejores resultados ha obtenido es el Heuristic Miner. Finalmente, en el sector Financiero se han usado prácticamente todos los algoritmos, sin embargo, los que consiguieron descartarse por sus resultados son: Heuristic Miner y Evolutionary Tree Miner.

Finalmente, cabe resaltar que, según las literaturas estudiadas, incluyendo las revisadas en el marco teórico y estado del arte, el algoritmo que ha tenido un gran impacto en el sector salud, ha sido el Fuzzy Miner, esto debido a que sus resultados mantienen un equilibrio entre las características principales de Process Mining.

4.2.2.2 Herramientas de Process Mining

Así como se hizo con los algoritmos, se ha identificado las principales herramientas, existentes en el mercado, que permiten aplicar la disciplina de Process Mining. Para esto se han considerado los artículos académicos estudiados tanto para análisis de algoritmos, como para la elaboración del estado del arte y marco teórico.

Como resultado, se ha obtenido distintos datos, los cuales se presentan a través de un cuadro comparativo entre las herramientas que fueron halladas, tomando en consideración algunas de las características y de las cualidades que tienen cada una de ellas.

El cuadro comparativo de herramientas toma en consideración el tipo de información que soporta cada herramienta, la capacidad de Registro de Eventos que puede analizar, la notación del modelo de salida, si es open source o si hay un pago por licencia, así como la cantidad de usuarios disponibles por licencia, entre otras características.

Entre las herramientas que se han mostrado en el cuadro anterior, llegamos a concluir que, por un lado, si se cuenta con especialistas de Process Mining y el uso será directamente para ellos, la herramienta más destacada es ProM Tools, no sólo porque es open source, sino que además cuenta con diversos complementos que se pueden integrar. Sin embargo, para poder aprovechar los estos complementos y la herramienta como tal, es necesario tener claro los conceptos de la disciplina de Process Mining, puesto que su nivel de usabilidad es bajo.

Por otro lado, si el objetivo es trabajar en mejorar la experiencia del usuario final para obtener un mejor análisis, la elección adecuada es Celonis, esto debido a que después de aplicar las técnicas de Process Mining, se obtienen diversos datos, los cuales son representados a través de la herramienta haciendo uso de técnicas de Data Visualization lo que permite un mejor análisis para la toma de decisiones, asimismo es importante mencionar que el nivel de usabilidad es alto y que la representación del proceso es un Fuzzy Model, el cual permite decidir entre las tareas que se desean conservar en el proceso modelado.

Herramienta	Soporte de Tipo de Importación	Capacidad (Cantidad de Registro de Eventos)	Notación del modelo de salida	Costo Mensual (Dolares)	Cantidad de Usuarios por Licencia	Tiempo Soporte (Meses)	Licencia	Plataforma	Filtrado datos	Visualización del proceso	Comparación de Procesos	Informes de rendimiento	Rastreo de trazas	Usabilidad
ProM	MXML, XES	Ilimitado	BPMN, Work Flow, Petri Nets, EPCs, Transition Systems, Heuristics	Free	Ilimitado	-	-	On Premise	X	X	X	X	X	-
Disco	CSV, XLS, MXML, XES y FXL	5 Millones Eventos	Fuzzy model	\$ 1618	1	Ilimitado (Vigencia del servicio)	X	On Premise	X	X	-	X	-	X
Celonis	CSV, XLS	Ilimitado	Fuzzy model	\$ 598 - 1929	1	Ilimitado (Vigencia del servicio)	X	On premise/ SaaS	X	X	-	X	-	X
QPR Process Analyzer	XES	10 Millones Eventos	Work Flow	\$ 1126	1	1	X	On Premise	-	X	-	X	-	X

Tabla 8: Comparación de Herramientas de Process Mining

4.3 Modelo

4.3.1 Descripción

En este apartado, se detallará el progreso del diseño del Modelo de Referencia para la Detección de Variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.

4.3.2 Diseño del Modelo

4.3.2.1 Descripción

El modelo para este proyecto se desarrolló tomando como base diversos artículos de investigación, considerando especialmente modelos y metodologías de Process Mining y Data Visualization.

Ilustración 3: Modelo para la Evaluación de Variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization

4.3.2.2 Fases del Modelo

1) Extracción

Esta etapa consiste en extraer los datos de eventos y modelos de procesos, aunque estos últimos son de forma opcional. Los sistemas de información que respaldan la ejecución de los procesos de negocio es el input principal para poder ejecutar esta etapa dando como resultado datos de los eventos extraídos, es decir, una colección de eventos sin una noción de caso predefinida.

Esta etapa está compuesta por dos actividades: determinación del alcance y extracción de datos de eventos.

a) Determinación del alcance: Esta actividad implica determinar el alcance de la extracción de datos, es decir que procesos y variables se van a analizar ya que en función a esto se extraerán los datos del evento.

Algunas preguntas por considerar son: Con que granularidad se extraerán los datos, que periodo de historia se abarcara, que atributos vamos a seleccionar.

b) Extracción de datos de eventos: Esta actividad es consecuencia de la delimitación del alcance, actividad previa, una vez que se determina correctamente todo lo que se va a analizar se procede a recopilar los datos relacionados con el proceso seleccionado de los sistemas de información pertinentes.

2) Procesamiento de Eventos

Esta etapa consiste en crear los registros de eventos como vistas diferentes de los datos de eventos obtenidos, y de procesar los registros de eventos con el propósito de ser óptimos para la etapa de minería de procesos. Además de los datos del evento como input principal, también se puede usar modelos de proceso como input adicional para filtrar los datos del evento. Los resultados son registros de eventos que se utilizan en la etapa de minería de procesos.

Esta etapa está compuesta por tres actividades: crear vistas, enriquecer registros y filtrar registros.

a) Creando vistas: Consiste en crear los registros de eventos que son vistas generadas por los datos de eventos, creados al definir los casos y las clases de eventos. La noción de caso consolida los eventos de manera que en conjunto forma una instancia de proceso, mientras que las clases de evento distinguen

diferentes actividades dentro de una instancia de proceso. Para ello se debe seleccionar las variables a transformar y agrupar por casos (ejemplo: CaseID, Nombre de la Actividad, Fecha Inicio, Fecha Fin)

- b) **Registros enriquecedores:** Esta actividad consiste en enriquecer con variables adicionales a los registros de eventos, para ello se puede lograr de dos formas, la primera es deducir, calcular variables adicionales o generar atributos en base a las variables presentes en el mismo registro de eventos y la segunda es agregar datos externos al registro de eventos.
- c) **Filtrando registros:** Esta actividad de procesamiento de datos se utiliza con frecuencia para reducir la complejidad o enfocar el análisis en una parte específica. Esta actividad se realiza varias veces en una iteración de análisis para obtener diferentes perspectivas sobre los mismos datos. Está compuesta en tres tipos de técnicas de filtrado: segmentadas (filtrado de atributos), basadas en la varianza y basadas en el cumplimiento.

3) Minería de Procesos

Esta etapa consiste en aplicar las técnicas de minería de procesos con los registros de eventos y obtener información sobre los procesos y el cumplimiento de estos. Las técnicas de exploración combinadas con el descubrimiento de procesos se pueden aplicar en los registros de eventos para obtener una vista general del proceso comercial, p. su flujo de control.

Las entradas para esta etapa son registros de eventos. Adicional a esto, si hay modelos de proceso existentes en la empresa también se consideran para verificar la conformidad y actividades de mejora. Los resultados de esta etapa son los procesos de negocios, el cumplimiento de los procesos descubiertos con respecto a los procesos documentados y el conocimiento de lo que sucede con el proceso. Esta etapa está compuesta por tres actividades: descubrimiento de procesos, verificación de conformidad, mejora.

- a) **Proceso de descubrimiento:** Dado un registro de eventos como entrada, generalmente comenzamos con técnicas de descubrimiento de procesos, que devuelven un modelo de proceso basado en hechos como salida.

- b) **Comprobación de conformidad:** Dado un modelo de proceso, descubierto o documentado, que describe el comportamiento previsto, y un registro de eventos de comportamiento real registrado, las técnicas de verificación de conformidad apuntan a la detección de inconsistencias relacionadas con el cumplimiento de los procesos de negocios entre un modelo de proceso y su correspondiente registro de ejecución, estas pueden ser de diferentes aspectos, tales como calidad, tiempo, recursos y costo, se pueden verificar usando técnicas de verificación de conformidad, cuyos resultados también pueden usarse para mejorar los modelos de procesos.
- c) **Mejora:** La actividad de mejora se define como ampliar o mejorar un modelo de proceso existente utilizando información sobre el proceso real registrado en un registro de eventos, por ejemplo, extendiendo el modelo de proceso con información de rendimiento relacionada con tiempo o costo o reparando el modelo de proceso de acuerdo con las ejecuciones actuales mostradas por el registro de eventos correspondiente. Los resultados de la mejora son modelos de proceso, p. mejorado con diferentes aspectos, mientras que los resultados de la verificación de conformidad se pueden considerar sin ningún modelo de proceso.

4) Visualización de Datos

Esta etapa consiste en aplicar las técnicas de visualización de datos con los registros de eventos y obtener variables necesarias para entender los procesos de negocio. Las técnicas de visualización dependen de las variables a evaluar. La entrada para esta etapa son registros de eventos. Los resultados de esta etapa son los gráficos dinámicos que explican lo que sucede con el proceso.

Esta etapa está compuesta por tres actividades: selección de datos, evaluar variables, seleccionar técnicas.

- a) **Selección de Datos:** En la mayoría de los casos, los datos importados no son uno a uno con los aspectos que queremos conocer. Esto es inherente a nuestra elección de importar datos "tal como están". Por lo general, los datos brutos no modelan directamente los aspectos que se desean. Si fuera así, no necesitaríamos visualización en absoluto, ya que podríamos consultar

directamente los datos de entrada y obtener las respuestas deseadas. La visualización es útil cuando el tema de nuestras preguntas involucra características más complejas que las modeladas directamente por los datos de entrada. Por lo tanto, de alguna manera debemos destilar nuestro conjunto de datos sin procesar en representaciones más apropiadas, también llamadas conjuntos de datos enriquecidos, que codifican nuestras características de interés en una forma más apropiada para el análisis y la visualización. Este proceso se denomina filtrado de datos o enriquecimiento de datos, ya que realiza dos tareas: por un lado, los datos se filtran para extraer información relevante. Por otro lado, los datos se enriquecen con información de nivel superior que admite una tarea determinada. En la literatura, estas dos operaciones generalmente no se discuten por separado, sino que se amalgaman en una sola etapa de la canalización de visualización. Dado esto, utilizaremos los términos "filtrado" y "enriquecimiento" indistintamente, a menos que se especifique lo contrario explícitamente en el contexto. A continuación, algunos contextos de ejemplo donde el filtrado de datos es necesario.

- i) **Vea lo que es relevante:** A menudo, no son importantes las propiedades del conjunto de datos de entrada completos, sino sólo las de un subconjunto de interés específico que sea relevante para una tarea determinada. Por ejemplo, los especialistas médicos están interesados en ver únicamente estructuras anatómicas específicas relacionadas con una determinada afección, que son un subconjunto de todo el conjunto de datos que obtienen de los dispositivos de escaneo, como los escáneres CT o MRI. Los analistas financieros pueden querer enfocarse en el comportamiento de solo un pequeño subconjunto de compañías de interés, dado un gran conjunto de datos bursátiles que contienen los precios de las acciones de miles de compañías. La selección de un subconjunto de interés se puede hacer en el dominio espacial, en el dominio de valor de atributo o en una combinación de ambos.
- ii) **Manejar datos grandes:** Otra razón para el filtrado de datos es el hecho de que los conjuntos de datos de entrada pueden ser abrumadoramente grandes. Esto dificulta el procesamiento eficiente, que puede ser un problema grave cuando los usuarios requieren aplicaciones de visualización interactiva. Un problema más fundamental relacionado con

el tamaño es la resolución de salida limitada de las pantallas de computadora típicas utilizadas por las aplicaciones de visualización. Piense en el ejemplo simple de mostrar una imagen de color bidimensional. Esta es una instancia de visualización de un conjunto de datos 2D que tiene atributos de color especificados por celda (o píxel). Si los conjuntos de datos de entrada superan un cierto tamaño, la visualización producirá imágenes de salida que ya no se ajustan a una pantalla determinada. Una solución utilizada en la práctica es hacer zoom, es decir, mostrar solo un subconjunto de píxeles que capture las características generales del conjunto de datos completo. La solución complementaria, panorámica, es decir, seleccionar un subconjunto de la imagen de entrada en su resolución original, también se puede ver como una forma de filtrado de datos.

iii) **Facilidad de uso:** Una razón final para el filtrado de datos es la conveniencia. Es muy difícil, si no prácticamente imposible, describir toda la paleta de operaciones de procesamiento de datos involucradas en el proceso de visualización en términos de una única representación de datos o tipo de conjunto de datos. Por lo tanto, los conjuntos de datos generalmente se transforman de una forma a la otra durante el proceso de visualización, de modo que se ajustan a la representación de datos requerida por las operaciones de procesamiento que queremos aplicar. Prácticamente, esto implica trabajar con diferentes tipos de conjuntos de datos que tienen diferentes dimensiones, celdas, cuadrículas, funciones de interpolación y valores de atributos. Considere nuevamente nuestro ejemplo de diagrama de altura. Si un paquete de visualización dado solo proporciona cómputo derivado en celdas triangulares, y nuestros datos vienen como una cuadrícula cuádruple, necesitamos convertir los cuadrantes en triángulos para poder usar el paquete respectivo.

b) **Evaluación de Variables:** En esta etapa, se toma como entrada el conjunto de datos enriquecido para asociarlo a las diversas técnicas de Data Visualization. Este proceso de asociación es conocido también como mapeo, en el cual se identifica la cantidad de variables que tiene el conjunto de datos y los tipos de técnicas de Data Visualization que pueden representarlo. Por

consiguiente, se obtiene una lista de técnicas que permitirán representar el grupo de datos de interés.

- c) **Selección de Técnicas:** En la presente etapa, se procede a escoger las técnicas idóneas para representar el conjunto de datos enriquecido, estas técnicas son escogidas de la lista que tiene como salida la etapa anterior, considerando aspectos como la resolución de la pantalla en la que será presentada la información y los usuarios finales. Por último, después de haber realizado la selección, se procede a realizar la representación gráfica o pictórica.

5) Evaluación de Resultados

En esta etapa de evaluación es relacionar los hallazgos del análisis con ideas de mejora que logren los objetivos del proyecto. Las entradas son los modelos de proceso, los resultados de rendimiento, cumplimiento de la etapa de análisis y los gráficos analíticos que nos van a permitir evaluar y hacer una toma de decisiones. Los resultados son ideas de mejora y las principales deficiencias.

Esta etapa está compuesta por tres actividades: Diagnosticar y Verificar - Validar.

- a) **Diagnóstico de procesos:** El diagnóstico de los hallazgos obtenidos a través de la minería de procesos incluye lo siguiente: (1) interpretar correctamente los resultados (por ejemplo, comprender el modelo de proceso descubierto), (2) distinguir resultados interesantes o inusuales de los esperados (por ejemplo, gran cantidad de ejecuciones anormales) y (3) identificar o refinar preguntas de investigación para posibles iteraciones adicionales.

- b) **Verificar - Validar:** Se investiga la exactitud de los hallazgos (inesperados). La verificación compara los hallazgos obtenidos con los datos originales y las implementaciones del sistema, mientras que la validación compara los hallazgos con los reclamos de las partes interesadas del proceso, p. entrevistando los recursos involucrados en los procesos. Tanto la verificación como la validación pueden ayudar a identificar las causas subyacentes subyacentes y diseñar ideas para posibles mejoras del proceso.

4.4 Herramienta

4.4.1 Descripción

En este apartado, se describe la herramienta que soporta el modelo desarrollado en el proyecto.

4.4.2 Herramienta – Celonis

a) Descripción

Celonis Process Mining es una tecnología inteligente de big data que analiza y visualiza cada proceso en la empresa. Esta herramienta permite aplicar Process Mining, la cual se utiliza para modelar procesos en base a la información que se carga en sistema, además ayuda a revelar debilidades y hace que los procesos sean más transparentes, más rápidos y más rentables.

b) Características

i) Reconstruyendo y Visualizando Procesos

Celonis utiliza los rastros digitales de los procesos respaldados por TI para reconstruir lo que ocurre en una empresa. Muestra todas las variantes del proceso, desde el flujo de proceso más común hasta la visualización completa de todos los procesos actualmente en ejecución. Con el intuitivo Process Explorer, así como muchas otras opciones flexibles de visualización y filtrado, puede acercarse al nivel de documento único.

ii) Detectar Vulnerabilidades

Celonis detecta cualquier vulnerabilidad oculta. Puede ver de un vistazo dónde ocurren inefficiencias que afectan el costo, la velocidad, la calidad y el riesgo en sus procesos. Puede determinar rápidamente el tiempo de procesamiento ideal y los casos de búsqueda en los que se pierde tiempo debido a cuellos de botella, desvíos innecesarios e intervenciones, o cuando surgen problemas de cumplimiento.

iii) Identificar Causas y Tomar Medidas

Celonis descubre los problemas y debilidades en su proceso, lo que le permite establecer conexiones directas entre sus causas principales y sus soluciones. La combinación de poderosas capacidades de aprendizaje automático y una

interfaz de usuario intuitiva ayuda a proporcionar los datos y la claridad que necesita para tomar decisiones y tomar medidas.

iv) Compare lo registrado con lo documento

La verificación de conformidad le permite comparar sus modelos operativos objetivo con el proceso tal como está, proporcionando un análisis automatizado de brecha de ajuste. Al aprovechar los componentes integrados de aprendizaje automático, Celonis analiza las causas de las desviaciones y la pérdida de rendimiento, destacando los problemas que tienen el mayor impacto en el rendimiento del proceso.

v) Optimización en Tiempo Real

Celonis siempre te permite controlar tus procesos, garantizando una eficiencia continua. La minería de procesos en tiempo real le permite a su empresa responder de inmediato a las desviaciones y cambios en el mercado. Con un asistente digital incorporado, Celonis capacita a los empleados en las operaciones diarias para tomar decisiones más inteligentes en tiempo real.

4.5 Ejecución del Modelo

4.5.1 Fase de Extracción

Esta fase del modelo fue desarrollada por parte de los encargados en la empresa, ellos fueron los que extrajeron la información de los datos de evento y nos brindaron un archivo que contenía dicha información.

El formato de salida que ellos escogieron, para esta fase, fue un archivo xlsx.

4.5.2 Fase de Procesamiento de Eventos

Tomando en cuenta la información proporcionada, se eliminaron las trazas que no estaban completas y se procedió a elaborar el registro de eventos correspondiente, principalmente, 3 atributos, los cuales son Encuentro (Identificador de Traza), Actividad (Nombre de la Actividad) e Inicio de Actividad (Fecha y hora de la actividad).

4.5.3 Fase de Minería de Procesos

Para la presente fase se utilizó la herramienta Celonis, previamente mencionada. En la primera etapa (Descubrimiento de Procesos), se hizo uso del algoritmo que usa la

herramienta, Fuzzy Miner, aquí se realiza una interacción con la fase de Evaluación de Resultados, puesto que el especialista o experto del proceso, debe seleccionar qué nodos y arcos se tomará del proceso descubierto. Los resultados que obtuvieron son los siguientes resultados:

Ilustración 4: Primer Proceso Descubierto

Ilustración 5: Proceso Descubierto considerando más Variantes

Posteriormente se ejecutó la segunda etapa de Process Mining, Comprobación de Conformidad, donde se cargó el proceso documentado y se comparó con el proceso descubierto, considerando todas las trazas en el registro de Eventos. A continuación, se detalla solo algunas de las actividades que contiene el proceso documentado.

Ilustración 6: Flujograma del Proceso Documentado

4.5.4 Fase de Visualización de Datos

En la primera Etapa de Process Mining, se empieza a realizar la primera interacción con las técnicas Data Visualization. El soporte, es igualmente, brindado por la herramienta Celonis, donde se ejecutó lo indicado en el modelo y se obtuvieron los siguientes resultados.

Ilustración 7: Gráficos Elaborados en Base a la Información del Proceso

Para la segunda Etapa de Process Mining, también se interactuó con las técnicas de Data Visualization y se obtuvo lo siguiente:

Ilustración 8: Gráfico de área de la Etapa de Conformance Checking

4.5.5 Fase de Evaluación de Resultados

En la fase de Descubrimiento, el proceso real de Bloque de Cirugía ejecutado en sistema, y al evaluar las variables relacionadas al proceso, se identificaron los siguientes indicadores: El tiempo promedio del proceso, el tiempo promedio entre cada actividad, las cirugías recurrentes, la tendencia por tipo cirugía, la cantidad de cirugías por quirófano y la capacidad operativa. El valor del primer indicador, tiempo promedio del proceso, fue de 26 horas, de las cuales, 14 horas se encontraban entre las actividades: Registrar Llegada del Paciente y Preparar paciente. Consecuentemente, dichos resultados conllevaron a que el especialista verifique las tareas que se realizaban entre estas actividades. Del mismo modo, con respecto a las cirugías más recurrentes, se identificó que la cirugía más solicitada en el centro de salud era la cesárea, la cual representaba el 7.17% del total de cirugías registradas.

En la fase de Comprobación de Conformidad se encontró que aproximadamente el 97% de las trazas del registro de eventos eran reproducidas sin problema en el proceso descubierto. Sin embargo, un 3% de las trazas presentaban flujos distintos, por lo que se procedió a revisar estos casos. Posteriormente, el especialista del proceso de Bloque de Cirugía indicó que uno de los flujos distintos, el cual representaba el 2.60% del total de trazas, debería ser considerado y se procedió a adaptar el proceso documentado. Asimismo, se optó por implementar un mayor control en sistema, para regularizar los casos con flujos distintos a los considerados.

CAPÍTULO 5 RESULTADOS DEL PROYECTO

En este capítulo se detalla los resultados del proyecto durante su validación. Asimismo, se muestra el diagnostico realizado como resultado de aplicar el modelo propuesto. Este diagnóstico se divide en las siguientes fases: Descubrimiento, Conformidad y Mejora, con ello se evidencia que la aplicación del modelo en una institución del sector salud te permite identificar patrones, tendencias y anomalías de forma más eficiente en el proceso estudiado.

a) *Registrar Llegada de Paciente → Preparar Paciente* , el tiempo promedio entre estas actividades es de 14 horas. Este sería el primer y más importante cuello de botella a analizar, puesto que el 100 % de los casos pasan por estas actividades.

b) *Registrar Salida del Paciente del Bloque* is followed by *Preparar Paciente* , aunque el porcentaje de casos que siguen este flujo apenas representa el 2.63%, el tiempo promedio, registrado en sistema, del proceso es de 184 horas. Por este motivo, amerita una revisión detallada para conocer la razón del alto tiempo entre las actividades.

Asimismo, se ha realizado el estudio de la información solicitada por la especialista del proceso.

a) Tendencias por Tipo de Cirugía

Se ha identificado que el tipo de cirugía por encuentro más frecuente, en la clínica, es por HOSPITALIZACIÓN, el cual representa el 72.63% del total de cirugías. El segundo tipo de cirugía más frecuente es el AMBULATORIO, el cual representa el 26.83%. Finalmente, el tipo de Cirugía de EMERGENCIA representa el 0.54% con 36 cirugías registradas.

Ilustración 10: Cantidad de Cirugías por Tipo

b) Cirugías Recurrentes

Se detectaron las 5 cirugías más recurrentes, estas son: Cesárea (482 Cirugías), Colocación CATETER PORTH (Niños>5/Adulto) (164 Cirugías), Colectistectomía Laparoscópica (164 Cirugías), Resección Lesión de Piel de 3.1 a 4 cm Diámetro (110 Cirugías) y Biopsia Ganglio Centinela (Axila-Ingle) con Patent Blue Y/O.

Ilustración 11: Top 5 Cirugías Más Recurrentes

c) Cantidad de Cirugías Por Quirófano

En cuanto a la cantidad de cirugías realizadas por quirófano, se optó por usar un OLAP Table, la cual se muestra a continuación:

Quirófano	Cantidad de Cirugías
DEL_SOP1	1352
DEL_SOP2	1086
DEL_SOP3	1226
DEL_SOP4	1274
DEL_SOP5	600
DEL_SOP6	1185

Ilustración 12: Distribución de Cirugías por Quirófano

d) Capacidad Operativa

En primer lugar, se ha identificado que actualmente se atienden, en promedio, 27 cirugías y 13 encuentros por día. Sin embargo, el tiempo promedio del proceso, desde que inicia hasta que termina, es de 26 horas. Por otro lado, se identificó que la cantidad máxima de cirugías registradas en un mismo día es de 82, el día 11 de julio del 2018.

# Total de Encuentros	3229	# Cirugías	6723
Tiempo Promedio del Proceso	26.00	Encuentros Por Día	13.23
		Cirugías Por Día	27.55

Ilustración 13: OLAP Tables – Información del Proceso

Ilustración 14: Distribución de Encuentros por Mes

Fecha	Cantidad de Cirugías
2018-07-11	82
2018-05-08	66

Ilustración 15: OLAP Table de la cantidad Máxima de Cirugías Realizadas en un Día

5.1.2 Control de Conformidad

Después de haber subido el proceso documentado y compararlo con lo descubierto, el porcentaje de similitud es del 97%, el cual representa un buen indicador. Sin embargo, aproximadamente un 3% de casos no respetan el proceso documentado y pertenecen al grupo de casos con un tiempo duración mayor a los demás, lo cual altera el tiempo de promedio del proceso.

Ilustración 16: Gráficos de la Fase de Conformidad

Ilustración 17: Secuencia de actividades no coincidentes con el proceso documentado

5.1.3 Mejora

Después de haber subido el proceso documentado y compararlo con lo descubierto, el porcentaje de similitud es del 97%, el cual representa un buen indicador. Sin embargo, aproximadamente un 3% de casos no respetan el proceso documentado y pertenecen al grupo de casos con un tiempo duración mayor a los demás, lo cual altera el tiempo de promedio del proceso.

5.2 PLAN DE CONTINUIDAD

5.2.1 Adiestramiento

Para garantizar la continuidad del modelo, es indispensable que el personal de la organización de salud que va a hacer uso del modelo esté familiarizado con este. Por esta razón, se debe:

- Brindar una charla explicativa del modelo.
- Capacitar al personal en el uso de la herramienta que soporta al modelo.

5.2.2 Consideraciones

- Para que el modelo sea aplicado y se mantenga en el tiempo, las instituciones de salud deben mantener sus sistemas de información y datos transaccionales disponibles, ya que estos son esenciales para la aplicación del modelo.
- El modelo propuesto, es soportado por la herramienta Celonis, por lo que, la entidad de salud debe de pagar la licencia.

5.2.3 Evolución del Modelo

Dentro de la evolución del modelo se consideran principalmente:

5.2.3.1. Herramientas de Soporte

Durante el desarrollo de este proyecto, se han ido mejorando algunas herramientas de Process Mining y Data Visualization, como también, han salido nuevos productos al mercado. Es importante evaluar cada cierto determinado tiempo, las herramientas que hay en el mercado y comparar cuál de ellas nos permitirá explotar mejor nuestros datos para adaptar el modelo de ser necesario.

5.2.3.2. Interacción con Otras Disciplinas

Con el fin de obtener mejores resultados, se puede interactuar con Continuous Intelligence y Machine Learning, para poder analizar la data en tiempo real con la data histórica, generando

visualizaciones dinámicas e interactivas y predicciones de comportamiento de los procesos o propuestas de optimización de estos.

CAPÍTULO 6 GESTIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo toma como referencia la planificación realizada en el desarrollo del proyecto y se valida contra la ejecución real. Además, se muestra en los resultados del proyecto, así como los mismos en los planes de gestión del tiempo, recursos humanos, comunicaciones y de riesgos.

6.1 Producto Final

El objetivo del proyecto es proponer un Modelo de Referencia, considerando un análisis de técnicas y herramientas de Process Mining, y a su vez una revisión de metodologías para la aplicación de proyectos de Process Mining. Con el desarrollo del proyecto asignado se cumple el objetivo de validar de forma exitosa la propuesta del proyecto, la cual es la siguiente:

“MODELO DE REFERENCIA PARA LA EVALUACIÓN DE VARIABLES EN EL SECTOR SALUD UTILIZANDO PROCESS MINING Y DATA VISUALIZATION”

6.2 Gestión del Tiempo

Debido a ciertas eventualidades que surgieron durante el transcurso del proyecto, no todos los entregables se cumplieron en las fechas planificadas de acuerdo al Plan de Gestión. En la Tabla 4, se muestra las fases e hitos del proyecto en los dos semestres académicos 2018-I y 2018-II.

En la tabla, se muestran los hitos con la fecha en la que se había planeado realizar y la fecha real cuando se ejecutó con el sustento en la observación.

Fase del Proyecto	Hito del proyecto	Fecha Estimada	Entregables incluidos	Prioridad
Inicio	Aprobación del Project Charter por parte del comité de dirección, Desarrollo historias de usuario y Alineamiento de Proyecto con los Outcomes de ABET	Semana 1-3 2018-01	Project Charter Plan de Trabajo Memoria del Proyecto (Capítulo 2 - Student Outcomes)	Alta

Planificación	Aprobación del Marco Teórico, Artefactos del OM, Anexo B y los Documentos de Gestión	Semana 4-9 2018-01	Memoria del Proyecto (Capítulo 4 – Marco Teórico) Memoria del Proyecto (Capítulo 7 – Artefactos de PM) Documentos de Gestión	Alta
Ejecución	Aprobación del Estado del Arte y Finalización del Objetivo 1	Semana 10-12 2018-01	Estado del Arte (Capítulo 3 – Estado del Arte) Documento de Análisis de las Técnicas de Process Mining y Data Visualization, y Herramientas de Process Mining. Documento de Diseño del Modelo de Referencia para la evaluación de variables en el Sector Salud utilizando Process Mining y Data Visualization.	Alta

Cierre	Presentación del Cap. 5 Desarrollo del Proyecto, Objetivo 3 y Cartera de Proyectos	Semana 1-9 2018-02	Memoria del Proyecto (Capítulo 5 – Desarrollo del Proyecto)	Alta
	Presentación de Costos y Presupuestos, Objetivo 4, Resultados del Proyecto	Semana 10-12 2018-02	Anexo C - Costos y Presupuestos Memoria del Proyecto (Capítulo 5 – Resultados del Proyecto)	Alta
	Aprobación del Capítulo 2 - Student Outcomes y Memoria Final del Proyecto por parte del Comité de Proyecto	Semana 13-16 2018-02	Memoria final del Proyecto	Alta

Tabla 9: Plan de gestión del tiempo modificado

Fuente: Elaboración propia

6.3 Gestión de los Recursos Humanos

Para el proyecto se ha definido la siguiente estructura organizacional.

Los roles involucrados en el desarrollo del proyecto son los siguientes:

Ilustración 18: Organigrama del proyecto

Jefe de Proyecto: Rol de quien define los objetivos del proyecto, el alcance y los revisa de forma conjunta con el profesor Gerente y Profesor Cliente, con el propósito de mantenerse todos alineados e incorporar su retroalimentación. Además, es el encargado de sustentar el proyecto ante el comité.

Profesor Gerente: Encargado de brindar asesoría a los Jefes de Proyecto sobre el desarrollo del proyecto. Interviene de forma directa para la adecuada gestión del proyecto y ofrece recomendaciones según vaya avanzando el proyecto.

Comité de Proyectos: Grupo liderado por las autoridades de la Escuela de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, que se encargan de revisar y validar la calidad del proyecto brindado a través de las distintas fases del proyecto, definiendo el alcance de los objetivos planteados.

Cliente: Principal interesado del proyecto, encargado de definir el alcance y sus necesidades, además de ser parte principal para la aprobación de documentación de gestión y de entregables del proyecto.

6.4 Gestión de las Comunicaciones

No hubo cambios según lo planificado. Asimismo, se llevó a cabo lo propuesto en los incisos y las reuniones acordadas con actas que han sido validadas por los participantes involucrados, por ello se generó actas de reunión con el cliente, en todas estuvieron presentes los Jefes de proyecto PMDV.

6.5 Gestión de los Riesgos

En la siguiente tabla, se registran los riesgos que se evidencian durante el desarrollo del proyecto y las acciones que se tomó en cuenta para mitigarlo. Los riesgos considerados son aquellos que surgieron a raíz de la elaboración de entregables y falta de información del tema de investigación.

#	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Estrategia de mitigación
1	Cambio de profesor cliente del proyecto.	Muy Baja	Muy Alto	Mantener comunicación constante con el cliente y presentarle por fases entregables de valor.
2	Escasez de información relacionada a las disciplinas estudiadas en el proyecto de investigación.	Media	Medio	Realizar una búsqueda constante información en bases de datos bibliográficas
3	Cambio en el alcance del proyecto.	Media	Alto	Se realiza el Project Charter y el documento de Gestión de Alcance para que sea aprobado por el cliente.

4	El departamento de TI de la universidad no brinda la información necesaria	Baja	Alto	Conversar con los profesores de la facultad de la universidad para que estos puedan ayudarnos a obtener la información.
---	--	------	------	---

Tabla 10: Tabla de riesgos

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Al terminar el análisis de técnicas y algoritmos de Process Mining y Data Visualization, se concluye que existe una gran variedad de técnicas, algoritmos y herramientas para la aplicación de estas disciplinas, sin embargo, la elección de entre la variedad de opciones, va a depender del enfoque, sector u objetivo para el que se desee aplicar.

Luego de diseñar el modelo propuesto, se llega a la conclusión que es importante la revisión literaria siguiendo una metodología de investigación, para poder seleccionar los artículos académicos, especialmente los que contengan modelos y metodologías, que agreguen mayor valor al modelo y usarlos de referencia para el diseño.

Asimismo, finalizada la validación del proyecto, se concluye que la interacción de Process Mining con Data Visualization, potencia el análisis de evaluación de variables de los procesos, ya que las representaciones gráficas y pictóricas, ayudan en la comprensión de los datos resultantes de la aplicación de técnicas de Process Mining. Especialmente en el sector salud, el entendimiento de los procesos a este nivel, puede significar salvar una gran cantidad de vidas.

Finalmente, del plan de continuidad, se llega a concluir que el proyecto podrá mantenerse a través del tiempo dado que cuenta con un método que contempla acciones y revisiones post implementación del modelo propuesto.

RECOMENDACIONES

- La primera recomendación, es previa a la implementación del modelo. Es fundamental, contar con el apoyo y soporte de la gerencia o jefatura encargada, por este motivo, se les debe explicar la importancia del análisis de datos de los procesos y sobre los beneficios que conlleva la implementación del modelo.
- Se recomienda que, para la implementación del modelo, contar por lo menos con un integrante dentro del equipo de trabajo que conozca a detalle el modelo propuesto y otro que conozca el o los procesos a analizar.
- También se recomienda mantener comunicación constante con los especialistas durante la ejecución del modelo, debido a que dentro del proceso pueden estar incluidos procedimientos o métodos obligatorios, ya sea por regulaciones o porque la omisión de uno de estos pueda causar daño a una persona.

GLOSARIO

- EDT: Estructura de Descomposición de Trabajo.
- RRHH: Recursos Humanos
- PMBOK: Project Management Body Of Knowledge
- OG: Objetivos Generales.
- OE: Objetivos Específicos.
- IE: Indicador de Éxito.

BIBLIOGRAFÍA

- Data Visualization: What it is and why it matters. (s. f.). SAS. Recuperado 16 de marzo de 2018, de https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/data-visualization.html
- Van der Aalst, W. (2016, 24 agosto). Process Mining <http://www.processmining.org/logs/start>. Recuperado 16 de junio de 2018, de <http://www.processmining.org/logs/start>
- ESSALUD. (2015). *Presentación de los principales resultados de la encuesta nacional socioeconómica de acceso a la salud de los asegurados de Essalud*. Seguro Social de Salud. Recuperado de http://www.essalud.gob.pe/downloads/estadistica/pres_princ_result_enc_nac_soc_ec_acces_salud_aseg_essalud.pdf
- ESSALUD. (2014). *Reporte de casos registrados y atendidos por la defensoría del asegurado de ESSALUD - DAE*. Recuperado de http://www.essalud.gob.pe/transparencia/pdf/consultas/estad_diciembre2014.pdf
- ESSALUD. (2015). *Informe de Gestión de las Solicitudes de Intervención Mayo 2015* http://www.essalud.gob.pe/transparencia/pdf/consultas/estad_mayo2015.pdf
- De Alvarenga, S. C., Barbon, S., Miani, R. S., Cukier, M., & Zarpelão, B. B. (2018). Process mining and hierarchical clustering to help intrusion alert visualization. *Computers & Security*, 73, 474-491. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2017.11.021>
- Basole, R. C., Braunstein, M. L., Kumar, V., Park, H., Kahng, M., Chau, D. H. P., ... Thompson, M. (2015). Understanding variations in pediatric asthma care processes in the emergency department using visual analytics. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 22(2), 318-323. <https://doi.org/10.1093/jamia/ocu016>
- Bolt, A., de Leoni, M., & van der Aalst, W. M. P. (2015). Scientific workflows for process mining: building blocks, scenarios, and implementation. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 18(6), 607-628. <https://doi.org/10.1007/s10009-015-0399-5>
- Buck-Emden, R., & Dahmann, F.-D. (2018). Analyse von Studienverläufen mit Process-Mining-Techniken. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 55(4), 846-865. <https://doi.org/10.1365/s40702-018-0410-1>

- Telea, A. C. (2014). *Data Visualization: Principles and Practice, Second Edition (English Edition)* (2.^a ed.). Groninga, Holanda: A K Peters/CRC Press.
- Aalst, W. V. M. P. (2018). *Process Mining: Data Science in Action* (2nd Softcover Reprint of the Original 2nd 2016 ed. ed.). Aquisgrán, Alemania: Springer.
- Rojas, E., Munoz-Gama, J., Sepúlveda, M., & Capurro, D. (2016). Process mining in healthcare: A literature review. *Journal of Biomedical Informatics*, 61, 224-236. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2016.04.007>
- Appice, A., & Malerba, D. (2016). A Co-Training Strategy for Multiple View Clustering in Process Mining. *IEEE Transactions on Services Computing*, 9(6), 832-845. <https://doi.org/10.1109/tsc.2015.2430327>
- Liu, Q., Guo, X., Fan, H., & Zhu, H. (2017). A novel data visualization approach and scheme for supporting heterogeneous data. *2017 IEEE 2nd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC)*, 1259-1263. <https://doi.org/10.1109/itnec.2017.8284978>
- Van Der Aalst, W. (2012). Process mining. *Communications of the ACM*, 55(8), 76-83. <https://doi.org/10.1145/2240236.2240257>
- Orellana Garcia, A., Larrea Armenteros, O. U., Perez Ramirez, Y. E., & Perez Alfonso, D. (2016). Inductive Visual Miner Plugin Customization for the Detection of Eventualities in the Processes of a Hospital Information System. *IEEE Latin America Transactions*, 14(4), 1930-1936. <https://doi.org/10.1109/tla.2016.7483536>
- PwC. (2018). *Celonis Process Mining*. Autor. Recuperado de <https://www.pwc.dk/da/arrangementer/2018/web-finance-digital%20day-celonis.pdf>
- Celonis SE. (2018). *OPERATION GUIDE*. Autor. Recuperado de https://help.sap.com/doc/6163e388c6ce431a893758775e8dca41/4.3/en-US/SAP-Process-Mining-by-Celonis-4.3_Operation-Guide-1.6.pdf
- prom67 | ProM Tools. (2017, 13 octubre). Recuperado 3 de agosto de 2018, de <http://www.promtools.org/doku.php?id=prom67>
- Process Mining and Automated Process Discovery Software for Professionals - Fluxicon Disco. (s. f.). Recuperado 3 de agosto de 2018, de <https://fluxicon.com/disco/>
- Kebede, M., & Dumas, M. (2015). Comparative evaluation of process mining tools. *University of Tartu*.

- Erdogan, T., & Tarhan, A. (2016). Process Mining for Healthcare Process Analytics. *2016 Joint Conference of the International Workshop on Software Measurement and the International Conference on Software Process and Product Measurement (IWSM-MENSURA)*, 125-130. <https://doi.org/10.1109/iwsm-mensura.2016.027>
- Watanabe, A., Itoh, T., Chiba, K., & Kanazaki, M. (2017). A Scatterplots Selection Technique for Multi-dimensional Data Visualization Combining with Parallel Coordinate Plots. *2017 21st International Conference Information Visualisation (IV)*, 78-83. <https://doi.org/10.1109/iv.2017.63>
- Gotz, D., Sun, S., Cao, N., Kundu, R., & Meyer, A.-M. (2017). Adaptive Contextualization Methods for Combating Selection Bias during High-Dimensional Visualization. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 7(4), 1-23. <https://doi.org/10.1145/3009973>
- Rattanathavorn, K., & Premchaiswadi, W. (2015). Analysis of customer behavior in a call center using fuzzy miner. *2015 13th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT & Knowledge Engineering 2015)*, 137-141. <https://doi.org/10.1109/ictke.2015.7368485>
- Jangvaha, K., Porouhan, P., Palangsantikul, P., & Premchaiswadi, W. (2017). Analysis of emergency room service using fuzzy process mining technique. *2017 15th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ictke.2017.8259634>
- Bikakis, N. (2018). Big data visualization tools. *arXiv preprint arXiv:1801.08336*.
- Garcia-Banuelos, L., van Beest, N. R. T. P., Dumas, M., Rosa, M. L., & Mertens, W. (2018). Complete and Interpretable Conformance Checking of Business Processes. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 44(3), 262-290. <https://doi.org/10.1109/tse.2017.2668418>
- Panimalar, A., Khule, K.M., & Kumari, N. (2017). *Data Visualization Tools and Techniques For Datasets In Big Data*.
- Debois, S., Hildebrandt, T. T., Laursen, P. H., & Ulrik, K. R. (2017). Declarative process mining for DCR graphs. *Proceedings of the Symposium on Applied Computing - SAC '17*, 759-764. <https://doi.org/10.1145/3019612.3019622>

- DeepEye: An automatic big data visualization framework. (2018). *Big Data Mining and Analytics*, 1(1), 75-82. <https://doi.org/10.26599/bdma.2018.9020007>
- Shaikh, J., Masani, R., Khan, M., & Sayed, A. (2018). Doctor Mobile System for Data Visualization. *International Journal of Computer Applications*, 180(23), 41-45. <https://doi.org/10.5120/ijca2018916506>
- Shaikh, J., Masani, R., Khan, M., & Sayed, A. (2018). Doctor Mobile System for Data Visualization. *International Journal of Computer Applications*, 180(23), 41-45. <https://doi.org/10.5120/ijca2018916506>
- Aalst, W. V. D., Zhao, J. L., & Wang, H. J. (Eds.). (2015). Editorial: “Business Process Intelligence: Connecting Data and Processes”.
- Song, W., Xia, X., Jacobsen, H.-A., Zhang, P., & Hu, H. (2017). Efficient Alignment Between Event Logs and Process Models. *IEEE Transactions on Services Computing*, 10(1), 136-149. <https://doi.org/10.1109/tsc.2016.2601094>
- Suriadi, S., Andrews, R., ter Hofstede, A. H. M., & Wynn, M. T. (2017). Event log imperfection patterns for process mining: Towards a systematic approach to cleaning event logs. *Information Systems*, 64, 132-150. <https://doi.org/10.1016/j.is.2016.07.011>
- Franciscani, G. R., Santos, R., Boaventura, M., Bernardina, P. D., Meira, W., & De Melo Minardi, R. C. (2017). Experimental Evaluation of Crowdsourcing on the Characterization of Data Visualization Techniques. *2017 Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS)*, 432-437. <https://doi.org/10.1109/bracis.2017.75>
- Tibeme, B., Shahriar, H., & Zhang, C. (2018). Process Mining Algorithms for Clinical Workflow Analysis. *SoutheastCon 2018*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/secon.2018.8479176>
- García Oliva R., Santos Barrenechea J. J. (2018). Control Metrics Evaluation Model for Business Processes using Process Mining. *eKNOW 2018: The Tenth International Conference on Information, Process, and Knowledge Management*, 1-10.